70 1955 КНАГУ УНИВЕРСИТЕТ

МОЛОДЁЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Часть 1

Материалы VIII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, 07-11 апреля 2025 г.

Комсомольск-на-Амуре
2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Часть 1

Материалы VIII Всероссийской национальной научной конференции
молодых учёных
Комсомольск-на-Амуре, 07-11 апреля 2025 г.

Комсомольск-на-Амуре
2025

УДК 001
ББК 95.4
М 754

Рецензент – Козин Виктор Михайлович,
главный научный сотрудник Института
машиноведения и металлургии, ХФИЦ ДВО РАН,
доктор технических наук, профессор

Редакционная коллегия:
Ответственный редактор – проректор по НР,
доктор технических наук, профессор А. В. Космынин;
ответственный секретарь – Т. Н. Шелковникова;
технический секретарь – Н. А. Жалдак

М 754 **Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований** : материалы VIII Всерос. нац. науч. конф. молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 07-11 апреля 2025 г. : в 3 ч. / редкол. : А. В. Космынин (отв. ред.), Т. Н. Шелковникова, Н. А. Жалдак. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2025. – Ч. 1. – 570 с.

ISBN 978-5-7765-1606-1 (Ч. 1)
ISBN 978-5-7765-1605-4

Материалы сборника посвящены актуальным проблемам развития науки и техники. Приводимые материалы могут быть полезны преподавателям вузов, руководителям предприятий, а также студентам и аспирантам.

Материалы публикуются в авторской редакции. За содержание и достоверность статей ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

УДК 001
ББК 95.4

ISBN 978-5-7765-1606-1 (Ч. 1)
ISBN 978-5-7765-1605-4

© ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2025

СЕКЦИЯ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 665.72
Архипова Влада Сергеевна, студент, Комсомольский-на Амуре государственный университет
Arkhipova Vlada Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Морозова Татьяна Дмитриевна, студент, Комсомольский-на Амуре государственный университет
Morozova Tatiana Dmitrievna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сергеев Виталий Анатольевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sergeev Vitalii Anatolievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Люхо Илья Андреевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Lyukho Ilya Andreevich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University
Шакирова Ольга Григорьевна, доктор химических наук, доцент, заведующий кафедрой “Химия и химические технологии”, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Shakirova Olga Grigorievna, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department “Chemistry and Chemical Technologies”, Komsomolsk-na-Amure State University

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНИ-ЗАВОДОВ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В ЯКУТИИ

PROSPECTS OF USING MINI-PLANTS FOR THE PRODUCTION OF LIQUEFIED NATURAL GAS IN YAKUTIA

Аннотация. Были определены проблемы, влияющие на производство сжиженного природного газа (СПГ) в северных регионах. Предложена наиболее эффективная технология малотоннажного производства СПГ на основании выгоды использования азотного турбодетандерного цикла, а также оптимизирована логистическая схема реализации продукции. Прямой срок окупаемости оценивается из составляющих: капитальные вложения ~40 млрд. руб., ежегодный поток доходов ~ 6 млрд. руб. чистой прибыли (при выручке ~30 млрд. руб. и суммарных затратах ~24 млрд. руб.). В этом случае инвестиции окупятся примерно за 8 лет эксплуатации, что для инфраструктурного проекта является приемлемым сроком.
Abstract. The problems affecting the production of liquefied natural gas (LNG) in the northern regions were identified. The most efficient technology for low-tonnage LNG production is proposed based on the benefits of using a nitrogen turbo expander cycle, and the logistics scheme for product sales is optimized. The direct payback period is estimated from the components: capital investments is near 40 billion rubles, annual income stream is almost 6 billion rubles, net profit (with revenue of ~30 billion rubles and total costs ~ 24 billion rubles). In this case, the investment will pay off in about 8 years of operation, which is an acceptable period for an infrastructure project.
Ключевые слова: сжижение природного газа, мини-завод, Якутия.
Key words: natural gas liquefaction, mini-plant, Yakutia.

Огромные территории и суровый климат Якутии обуславливают логистические особенности проектирования, строительства и эксплуатации заводов по производству сжиженного природного газа [1]. На данный момент Газпром использует крупные стационарные установки (например, проект "Портовая" мощностью 13 млн тонн/год) на основе каскадного цикла (пропан-этилен-азот). Эта технология является энергозатратной для малых объёмов и требует развитой инфраструктуры.

Технология малотоннажного сжижения должна сохранять работоспособность в таком климате, быть максимально надежной (т.к. ремонт в зимний период затруднен), и при этом обеспечивать необходимый объем производства СПГ для покрытия пиков 10–11 млн.м^3/сут. в зимний период. Также важно, чтобы технологическое решение было относительно модульным и транспортабельным, учитывая доставку оборудования в регион (в основном речным транспортом летом или зимниками). Обзор технологий малотоннажного СПГ, рассматриваемых с учетом условий Якутии, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Технологии малотоннажного СПГ

Технология	Коэффициент ожижения, %	Плюсы для Якутии	Минусы в условиях Якутии
Азотный турбодетандерный цикл [2]	95–100	Минимум потерь. Стабильная работа при больших перепадах температуры. Азот как хладагент не конденсируется.	Высокое энергопотребление. Необходимы мощные компрессоры. Сложность в обслуживании.
Дроссельно-эжекторный (открытый) цикл [3]	40–60	Простота и надежность. Возможность использовать естественный перепад давления для получения холода.	Для получения больших объемов СПГ потребуется параллельная работа нескольких линий.
Каскадный смешанный хладагент [4]	90–100	Высокая эффективность. Широко применяется на крупных СПГ-заводах, отработанная технология.	Сложность и дороговизна. Возможны риски с доступностью оборудования под санкциями.

Учитывая приведенное сравнение, наиболее целесообразной для условий центральной Якутии представляется технология азотного цикла с турбодетандером (замкнутый цикл расширения хладагента). Данная технология обеспечивает практически полный выход СПГ из подаваемого газа, что важно при необходимости накопить большие запасы СПГ для зимних пиков. Кроме того, азотный цикл надежен в экстремальный мороз – инертный газ не создаёт рисков замерзания хладагента. Несмотря на несколько большую энергоемкость, в Якутии это допустимо, так как природный газ доступен по низкой себестоимости (имеется свой ресурс) и часть энергии охлаждения можно извлекать за счет работы турбодетандера и использования естественного холода окружающей среды.

Работа посвящена поиску решений по монетизации газовых ресурсов путем реализации проектов по малотоннажному производству СПГ в условиях Республики Саха (Якутия) в соответствии со стратегией повышения эффективности разработки месторождения в рамках концепции «Технологические инновации».

Основными транспортными путями Якутии являются автомобильные дороги, но сеть ограничена федеральной трассой А331 «Вилюй» от г. Якутска в сторону п. Мирного, далее на юг имеются лишь отдельные участки с твердым покрытием, грунтовые дороги и зимники. Река Лена с притоками позволяет 150 дней доставлять грузы по воде и является транспортным плечом от Усть-Кута до Якутска (~2000 км). Также железнодорожная ветка Амуро-Якутской магистрали, которая с 2019 г. дошла до ст. Нижний Бестях напротив Якутска, обеспечивает связь Якутского центра с Транссибом. Для энергоснабжения города Якутска и прилегающих улусов (районов) требуются значительные объемы газа. По данным 2024 г., ЯТЭК добывает ~1,96 млрд м³/год и полностью обеспечивает газом центральные регионы, однако многие населенные пункты вне газопровода до сих пор, там приходится использовать уголь и завозное топливо.

Исходя из вышепредставленного, оптимальной логистической схемой является смешанная (мультимодальная) схема доставки СПГ, включающая центральный хаб и различные виды транспорта. Предлагается разместить малотоннажный завод СПГ на базе существующей газовой инфраструктуры в районе г. Якутска (например, возле газораспределительной станции или вблизи конечной точки газопровода Мастах–Берге–Якутск), что позволит напрямую получать сырьевой газ из магистрали, сжижать его в межсезонье/летом и накапливать в криохранилище, а несжиженный остаток газа пускать в городскую сеть. Близость к Якутску позволит упростить обеспечение кадрами и электроэнергией для завода. Здесь же будет узел отгрузки СПГ в автоцистерны и изотермические контейнеры. Также в г. Якутске целесообразно поставить испарители для регазификации части СПГ обратно в сеть в часы пик (так называемое peak-shaving хранилище для городского газопровода),

что повысит надежность энергоснабжения города. Для вывоза СПГ с завода целесообразно использовать специализированные криоцистерны на шасси или полуприцепы-термосы (обычный объем ~40 м³ СПГ). По асфальтированным участкам (Якутск – Бердигестях и др.) можно осуществлять круглогодичные рейсы. Доставка к отдаленным селам, промышленным объектам, приискам планируется по зимникам. Так, в зимний период возможен завоз СПГ по сезонным трассам в Нюрбинский и Горный улусы. В летний же период крупные партии СПГ целесообразно доставлять по реке Лене и её притокам. Для этого СПГ из хранилища необходимо перелить в речные танкеры-газовозы или в стандартные ISO-контейнеры, размещенные на барже. Следует отметить, что речной транспорт наиболее экономичен на большие расстояния и позволяет завезти топливо сразу на год вперед крупными партиями, но ограничен краткими сроками навигации (~ 5 месяцев/год). Перевозка СПГ по железной дороге может осуществляться в 40-футовых ISO-контейнерах-цистернах, установленных на платформах (такие контейнеры стандартизированы и могут перемещаться кранами). Это создает эффект «виртуального газопровода» на большие расстояния.

При правильном планировании у каждого потребителя должен быть резервуар с запасом СПГ как минимум на 1–2 месяца автономной работы. В перспективе, если образуется избыточный объем СПГ, его можно отправлять по железной дороге на Дальний Восток или в приграничные с Китаем районы для продажи (подобные контейнерные поставки уже тестируются в Канаду, Китай). Основное же назначение ж/д в нашей схеме состоит в тыловом снабжении (доставка материалов, вывоз продукции при необходимости) и резервный канал транспортировки вне зависимости от погодных условий.

Отметим, что малотоннажный СПГ изначально нацелен на локальные рынки вблизи места производства, и наша схема как раз охватывает локальный регион, не дублируя магистральный трубопровод. Более того, развитие такой СПГ-сети создаст резервную систему энергоснабжения: при авариях на газопроводах или задержках завоза дизеля, всегда можно подвезти СПГ от мобильного завода, что повышает энергобезопасность Центральной Якутии [5]. Оценочная необходимая мощность завода составляет 0,4 млн. тонн СПГ в год, что эквивалентно ~1,5–2 млн. м³/сут газа, сжижаемого в летние месяцы. Этого хватит, чтобы за весну-осень накопить около 450–500 млн. м³ газа в виде СПГ, которые покроют дополнительные 5–6 млн. м³/сут к базовой добыче в морозные месяцы (90 дней × 5 млн = 450 млн м³). Технически такой объем может быть обеспечен модульным СПГ-заводом из нескольких линий по 5–10 т/час каждая. Например, установка Криогенмаш на 10 т/ч и пара азотных детандерных установок по 5 т/ч дают суммарно ~20 т/ч (480 т/сут) СПГ. Хранилище СПГ при заводе рассчитано на ~50 тыс. м³ СПГ (это ~30–35 тыс. тонн, достаточных для выдачи ~50 млн м³ газа в течение нескольких пиковых дней). Кроме центрального хранилища, у крупных потребителей (ЯкутскЭнерго, котельные) будут свои резервуары меньшего объема, чтобы иметь запас на несколько суток локального потребления.

По нашим расчетам, полная себестоимость доставки СПГ до конечного потребителя в центральной Якутии составит порядка 8–12 руб за 1 м³ (при цене сырого газа у скважины ~1–2 руб/м³ для внутренних нужд). Эта величина существенно ниже текущей стоимости альтернативных видов топлива. Для сравнения, эквивалент 1 м³ газа в виде дизельного топлива стоит в Якутии ~30 руб (с учетом северного завоза), а мазут и уголь при пересчете на тепло еще дороже. Мировой опыт показывает, что СПГ может быть в ~1,5 раза дешевле дизельного топлива в пересчете на энергию.

Таким образом, экономическая целесообразность проекта «Мини-СПГ для Центральной Якутии» обоснована: он обеспечивает надежное теплоснабжение на десятилетия вперед, снижает издержки в энергетике, дает толчок к развитию газомоторной инфраструктуры и промышленности. Авторы благодарят Международный инженерный чемпионат CASE-IN.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Буянова, Л. Н. Логистика малотоннажного СПГ / Л. Н. Буянова, О. М. Мудрова // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 4(83). – С. 166-180. – DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-4-166-180. – EDN XFMRKW.

2. Патент № 2538192 C1 Российская Федерация, МПК F25J 1/00. Способ сжижения природного газа и установка для его осуществления : № 2013149401/06 : заявл. 07.11.2013 : опубл. 10.01.2015 / А. В. Мамаев, С. А. Сиротин, Д. П. Копша [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество "Газпром". – EDN QNVNPK.

3. Опыт создания блоков ожижения СПГ-установок малой производительности / А. Л. Довбиш, В. А. Передельский, К. В. Безруков [и др.] // Технические газы. – 2012. – № 2(2012). – С. 42-45. – EDN SCCOPD.

4. Алпатов, Д. А. Преимущества применения технологий сжижения природного газа на основе смешанных хладогентов в России / Д. А. Алпатов, Д. А. Мельникова, Л. В. Ермолина // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 4(23). – С. 182-187. – DOI 10.51608/26867818_2023_4_182. – EDN NUWSEA.

5. Мещерин, И. В. Оптимизация технологий сжижения природного газа с целью повышения экономической эффективности процесса / И. В. Мещерин // Территория Нефтегаз. – 2016. – № 3. – С. 146-153. – EDN WGCAKT.

УДК 621.565

Бей Дмитрий Васильевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bey Dmitrii Vasilievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Щетинин Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Shchetinin Vladimir Sergeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University

ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

CORROSION INHIBITORS IN PETROCHEMICAL PRODUCTION: CURRENT STATE OF RESEARCH AND APPLICATION

Аннотация. В данной статье представлен сравнительный анализ иновационных методов защиты от коррозии нефтепроводов, с целью оценки эффективности использования ингибиторов коррозии в сравнении с другими подходами. Также рассматриваются современные достижения в области разработки и применения пленкообразующих ингибиторов коррозии в нефтегазовой промышленности.
Abstract. This article presents a comparative analysis of innovative methods of corrosion protection of oil pipelines, with the aim of assessing the effectiveness of using corrosion inhibitors in comparison with other approaches. Modern achievements in the development and application of film-forming corrosion inhibitors in the oil and gas industry are also considered.
Ключевые слова: ингибитор, коррозия, нефтепереработка, исследование.
Key Words: inhibitor, corrosion, oil refining, research.

Нефтехимическая промышленность включает в себя процессы добычи, переработки и транспортировки углеводородов, которые сопряжены с воздействием агрессивных сред на металлические конструкции. Металлические конструкции, составляющие основу всего технологического процесса – от буровых установок до трубопроводов и хранилищ – подвергаются постоянному воздействию коррозионных факторов. Эти факторы включают в себя воздействие различных химических соединений, присутствующих в нефти и газе, высокие температуры и давления, а также воздействие влаги и кислорода. Коррозия, как результат химического или электрохимического взаимодействия металла с окружающей средой, является одним из главных врагов нефтегазовой отрасли, приводя к значительному экономическому ущербу. Она не только ухудшает эксплуатационные характеристики оборудования, снижая его производительность и точность работы, но и существенно сокращает срок службы, увеличивая частоту дорогостоящих ремонтов и, что особенно опасно, повышает риск аварийных ситуаций, которые могут привести к экологическим катастрофам и

человеческим жертвам [1]. Поэтому борьба с коррозией в нефтегазовой отрасли является стратегически важной задачей, требующей постоянного совершенствования методов защиты. Одним из наиболее эффективных и широко применяемых методов защиты от коррозии является использование ингибиторов коррозии – специальных химических веществ, которые добавляются в рабочую среду или наносятся на поверхность металла, замедляют или полностью прекращают коррозионные процессы [2]. Данная статья посвящена сравнительному анализу различных методов защиты от коррозии нефтегазового оборудования с целью оценки эффективности использования ингибиторов коррозии в сравнении с другими подходами. Также рассматриваются современные достижения в области разработки и применения пленкообразующих ингибиторов коррозии. Среди других методов предотвращения коррозии, активно используемых в нефтегазовой отрасли, используют электрохимическую защиту. Данный метод создаёт защитное электрическое поле, которое препятствует электрохимическому растворению металла. Электрохимическая защита используется для обработки уже изготовленных изделий. Они могут быть как новыми, с неповреждённым слоем металла, так и старыми, подвергавшимися воздействию коррозии. В скважинах её эксплуатация связана с разрушением защитных протекторов и неравномерным распределением защитного потенциала, что может вызвать локальную коррозию в отдельных участках. Этот метод демонстрирует наибольшую эффективность на наземном оборудовании и магистральных трубопроводах нефтепромыслов, где обеспечивается более контролируемая среда. Другой распространенный метод – применение лакокрасочных покрытий. Данный метод экономичен и материально доступен. К тому же, в отличие от электрохимической защиты, он не требует затрат электроэнергии на протяжении всего срока службы покрытия. Для обеспечения надежной защиты от коррозии необходимо нанести нескольких слоев лакокрасочного покрытия, качество которого существенно влияет на долговечность защиты. Также важно учитывать возможные повреждения покрытия в процессе эксплуатации, которые могут стать очагами коррозии. Ещё один перспективный метод – газотермическое напыление. Данный метод основан на нанесении на поверхность металла защитного слоя из коррозионно-стойкого материала, например, нержавеющей стали, алюминия или других сплавов. Газотермическое напыление обеспечивает высокую стойкость к коррозии и износу, но является более сложным и дорогостоящим по сравнению с лакокрасочными покрытиями. Для процесса напыления необходимо специальное оборудование и высококвалифицированные специалисты. Долговечность и надежность защиты, обеспечиваемая данным методом, оправдывает значительные затраты [3]. В заключение следует отметить, что выбор наилучшего метода защиты от коррозии для нефтегазового оборудования определяется рядом факторов, включая тип оборудования, условия эксплуатации, финансовые возможности и требования безопасности. Ингибиторы коррозии, являясь важным компонентом комплексной системы защиты, способствуют снижению уровня коррозии в рабочей среде и усиливают эффективность других методов защиты. Для оптимального решения необходимо провести тщательный анализ условий эксплуатации и выбрать наиболее подходящие методы борьбы с коррозией с учетом всех преимуществ и недостатков (таблица 1). Постоянные исследования и разработки в области защиты от коррозии позволяют создавать более эффективные и экологически безопасные решения, способствующие непрерывной и безопасной работе нефтегазового оборудования (рисунок 1).

Таблица 1 – Шкала оценивания методов защиты от коррозии нефтепроводов

Показатель	Газотермическое покрытие	Изолирующее покрытие	Полимерные покрытия	Применения металлов	Ингибиторы коррозии
Антикоррозионные свойства	6	6	8	7	8
Сложность внедрения	7	7	7	3	8
Себестоимость	6	5	6	8	4
Экологичность	6	6	3	9	7
Долговечность	6	4	6	7	7

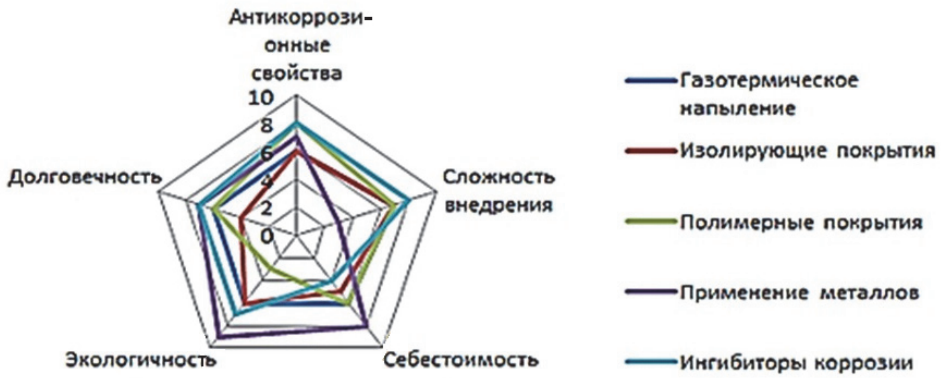


Рисунок 1 – Сравнительный анализ методов защиты от коррозии нефтепроводов

Анализ данных, полученных в ходе исследования, однозначно указывает на то, что использование ингибиторов коррозии является наиболее эффективный метод защиты нефтепроводов от негативного воздействия коррозии в условиях нефтегазовой промышленности. Это обусловлено тем, что коррозия, представляющая собой самопроизвольный электрохимический процесс разрушения металла, наносит огромный экономический ущерб, приводя к авариям, остановкам технологического процесса и необходимости проведения дорогостоящего ремонта.

Ингибиторы коррозии – это химические вещества или комбинации веществ, которые, при минимальных концентрациях в агрессивной среде, значительно снижают скорость коррозии или полностью останавливают её [4]. Основным механизмом работы большинства ингибиторов заключается в образовании на поверхности металла тонкой, но прочной защитной пленки. Эта пленка, являясь барьером, препятствует контакту металла с агрессивной средой, тем самым предотвращая разрушение. Среди наиболее распространенных и эффективных типов ингибиторов коррозии можно выделить несколько основных групп. К ним относятся алкиламины, иминовые производные, катионные поверхностно-активные вещества (КПАВ) и полимерные ингибиторы.

Алкиламины – это органические соединения, содержащие атомы азота, которые проявляют высокую эффективность в борьбе с углекислотной коррозией, часто встречающейся в нефтегазовых системах. Их механизм действия связан с образованием прочных комплексных соединений с ионами железа, основного компонента сталей, что препятствует их растворению и, соответственно, коррозии. Примерами служат октиламин и дециламин.

Иминовые производные, получаемые в результате реакции конденсации альдегидов или кетонов с аминами, эффективно противостоят сероводородной коррозии – ещё одному распространенному типу коррозии в нефтегазовой отрасли, обусловленному присутствием сероводорода (H_2S) в добываемой нефти и газе. Они также формируют защитные пленки на поверхности металла, но их химический состав и, соответственно, свойства пленок отличаются от таковых у алкиламинов. Один из представителей — оксазолин.

Катионные поверхностно-активные вещества (КПАВ) представляют собой соединения, молекулы которых несут положительный заряд. Благодаря этому они эффективно адсорбируются на отрицательно заряженной поверхности металла, образуя мономолекулярный слой, который предотвращает контакт металла с агрессивной средой. Примером является бензалкония хлорид [5].

Выбор конкретного типа ингибитора зависит от конкретных условий эксплуатации нефтепровода, состава рабочей среды и требуемого уровня защиты. Часто используется комбинация нескольких ингибиторов для достижения максимальной эффективности. Поэтому разработка новых и совершенствование существующих ингибиторов коррозии остаются важнейшими задачами для обеспечения надежной и безопасной работы нефтегазовой инфраструктуры. В последние годы произошел значительный прорыв в области ингибиторной защиты, сдвинув фокус с простого предотвращения коррозии к созданию более эффективных, экологически чистых и интеллектуальных решений. Этот прогресс обусловлен растущим пониманием сложности коррозионных процессов и повышенным вниманием к

охране окружающей среды. В дальнейшем развитие ингибиторной защиты будет сосредоточено на создании еще более совершенных «умных» ингибиторов, способных адаптироваться не только к различным физико-химическим параметрам среды, но и к специфическим условиям работы конкретного оборудования. Ученые работают над созданием ингибиторов с программируемой активностью, которые смогут реагировать на изменение условий с высокой точностью и эффективностью. Кроме того, продолжается активная разработка новых биоразлагаемых ингибиторов с улучшенными защитными свойствами и еще более быстрой биодеградацией. Параллельно развиваются и совершенствуются методы мониторинга эффективности ингибиторной защиты, включая различные спектроскопические и электрохимические методы, позволяющие оперативно контролировать состояние защитного слоя и корректировать режим применения ингибиторов. Это позволит перейти к предиктивному обслуживанию, основанному на предсказании коррозионного износа и своевременном предотвращении аварийных ситуаций.

В конечном итоге, целью этих исследований является создание интеллектуальной системы защиты от коррозии, способной самостоятельно адаптироваться к любым условиям и обеспечивать максимальную эффективность при минимальном воздействии на окружающую среду.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нагаева, В. А. Виды ингибиторов коррозии в процессах нефтепереработки / В. А. Нагаева, Т. В. Левенец // Теория и практика инновационных исследований в области естественных наук. – 2024. – С. 84-87. – EDN MAGMBE.

2. Даминев, Р. Р. Разработка и исследование свойств ингибитора коррозии - бактерицида на основе композиции диэтилдихлорпропенил-аммонийхлорида и борной кислоты/ Р. Р. Даминев, А. А. Исламутдинова, И. В. Гайдукова // Башкирский химический журнал. – 2011. – Т. 18, – № 3. –С. 147-151. – EDN OOUXKD.

3. Исламутдинова, А. А. Получение и защитные свойства ингибиторов коррозии на основе бор-, азотсодержащих соединений/ А. А. Исламутдинова, И. В. Гайдукова // В мире научных открытий. – 2010. – № 4-6. –С. 23-24. – EDN MZJQLB.

4. Защита трубопроводов от коррозии : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовке бакалавров и магистров 130500 "Нефтегазовое дело" и специальности 130501 "Проектирование сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ" направления подгот. дипломированных специалистов 130500 "Нефтегазовое дело" / Ф. М. Мустафин, М. В. Кузнецов, Г. Г. Васильев [и др.]. Том 1. – Санкт-Петербург : Издательство "Недра", 2005. – 620 с. – ISBN 5-94089-048-2. – EDN QNSNIL.

5. Васильев, А. И. Пленкообразующие ингибиторы коррозии в нефтегазовой отрасли / А. И. Васильев // Новые научные исследования. Сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. –2024. – С. 64-66. – EDN QFVDTR.

УДК 621.565

Бей Мария Константиновна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bey Maria Konstantinovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Отряскина Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиностроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Otryaskina Tatyana Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Head of the Department “Mechanical-engineering technology”, Komsomolsk-na-Amure State University

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРОДУКТА В РЕЗЕРВУАРНОМ ПАРКЕ

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR REDUCING PRODUCT LOSSES IN A TANK FARM

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ способов сокращения потерь нефтепродуктов в резервуарах нефтеперерабатывающей промышленности, определены основные критерии оценивания их эффективности, на основе анализа делается вывод о наиболее эффективном методе в области сокращения потерь продукта в резервуарном парке.
Abstract. The article presents a comparative analysis of methods for reducing losses of petroleum products in oil refining industry tanks, defines the main criteria for assessing their effectiveness, and, based on the analysis, a conclusion is made about the most effective method in the field of reducing product losses in a tank farm.
Ключевые слова: потери нефтепродукта, резервуар, экологичность, эжекционная система.
Key words: loss of petroleum product, reservoir, environmental friendliness, ejection system.

Проблема испарения нефтепродуктов из резервуаров представляет собой значительную экономическую и экологическую угрозу для нефтегазовой отрасли. Хранение нефти и нефтепродуктов, представляющих собой сложные смеси углеводородов различной летучести, сопряжено с неизбежными потерями из-за испарения [1].

Цель данной статьи – найти наиболее эффективные и экономически выгодные методы минимизации потерь. Существующие технологии позволяют снизить испарение лишь на 80-85%, что оставляет значительный потенциал для оптимизации. В статье предлагается комплексный подход, сочетающий решения и организационные мероприятия.

Среди технических методов особое внимание уделяется применению специальных устройств, модифицирующих конструкцию резервуара и минимизирующих контакт нефтепродукта с атмосферой. Это, в частности, установка плавающих крыш (понтонов), которые следуют за уровнем жидкости, уменьшая свободное пространство, заполненное парами. Использование дисков-отражателей способствует снижению нагрева нефтепродукта солнечными лучами, что, в свою очередь, уменьшает интенсивность испарения. В ряде случаев применяется герметизация резервуаров и поддержание в них повышенного давления, препятствующего испарению. Регулирование температуры хранимой жидкости также играет важную роль, так как разница температур между нефтью и окружающей средой является одним из ключевых факторов, влияющих на интенсивность испарения. Кроме того, эффективный контроль над процессом хранения включает в себя организационные мероприятия, направленные на предотвращение потерь, например, строгий учёт уровня и качества нефтепродуктов, регулярный мониторинг состояния оборудования и своевременный ремонт. Ещё одним важным элементом является использование систем улавливания легких фракций (УЛФ). Эти системы перехватывают испаряющихся компоненты и позволяют вернуть их в технологический процесс, таким образом, предотвращая не только потери ценного сырья, но и сокращая выбросы вредных веществ в атмосферу [2,3].

В условиях ужесточения экологических стандартов критически важно оценивать методы сокращения минимизации потерь нефтепродуктов в резервуарном парке. Ключевым критерием является эффективность сокращения испарений, которая напрямую влияет на экологическую устойчивость и финансовые затраты предприятия (таблица 1).

Практичность и простота исполнения и внедрения также играют значительную роль — методы должны быть целесообразными и легко внедряемыми, чтобы минимизировать временные и трудозатраты. Себестоимость реализации решений не должна превышать экономическую выгоду, что подразумевает поиск оптимального баланса между затратами и результатом. Экологичность технологии является неотъемлемой частью оценки, так как это не только вопрос соблюдения нормативных требований, но и вопрос репутации компании. Сложность монтажа должна оцениваться с точки зрения интеграции новых методов в существующую инфраструктуру. Немаловажно учитывать аспекты сокращения потерь от «малого дыхания» и «большого дыхания», так как именно они составляют значительную долю общих потерь. Системный анализ перечисленных критериев позволит выработать эффективную стратегию управления резервуарным парком, обеспечивающую как экономическую выгоду, так и защиту окружающей среды [4]. Интеграция экологически чистых технологий в управление резервуарным парком становится неотъемлемой частью стратегического планирования компаний. Комплексный учёт технических, экономических и эколо-

гических аспектов позволит не только выполнить требования законодательства, но и повысить имидж предприятия на рынке, что в долгосрочной перспективе усилит его конкурентоспособность (рисунок 1).

Таблица 1 – Шкала оценивания методов сокращение потерь

Показатель	Плавающая крыша /понтон	Резервуар с повышенным давлением	Диски-отражатели	Эжекционная система УЛФ	Компрессионная система УЛФ
Эффективность сокращения испарений	5	8	8	9,6	9,8
Сложность исполнения	5	3	8	8	7
Себестоимость	5	4	7	7	5
Экологичность	6	8	7	9	8
Сложность монтажа	7	3	7	8	6
Сокращение потерь от «малого дыхания»	6	10	3	9	8,5
Сокращение потерь от «большого дыхания»	7	5	3	9	8,5

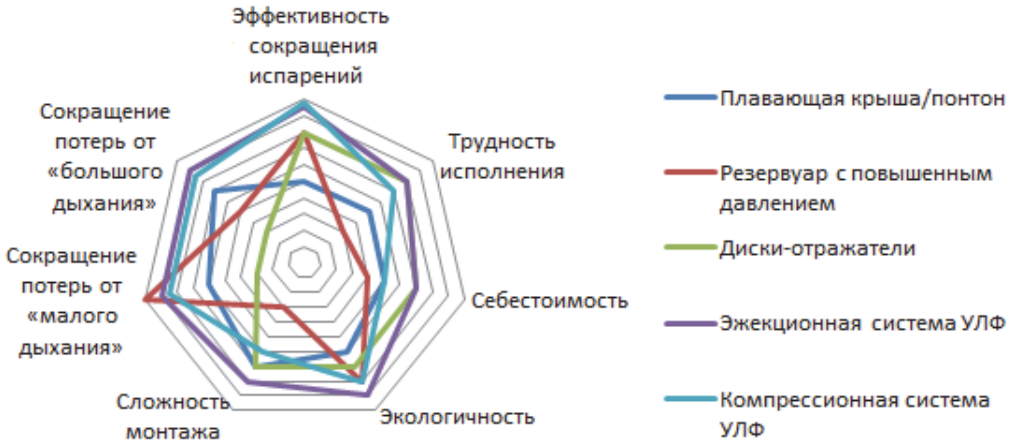


Рисунок 1 – Сравнительный анализ методов сокращения потерь продукта в резервуарном парке

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что система эжекционного улавливания легких фракций является наиболее действенным методом в области сокращения потерь продукта в резервуарном парке.

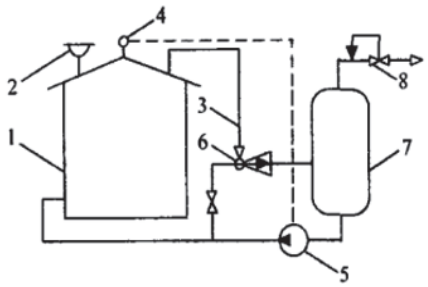


Рисунок 2 – Схема эжекторной системы улавливания лёгких фракций:
1 – резервуар с нефтепродуктом; 2 – дыхательный клапан; 3 – газовая обвязка;
4 – датчик вакуума; 5 – насос; 6 – жидкостно-газовый эжектор; 7 – рабочая ёмкость;
8 – регулятор давления типа «до себя».

Важной характеристикой данной системы является возможность тонкой настройки параметров технологического процесса, что позволяет ей адаптироваться к изменяющимся

условиям работы [5]. Это особенно важно в условиях нестабильности цен на энергетические ресурсы. В процессе эксплуатации системы можно легко регулировать режимы работы, что минимизирует риски простоя оборудования и снижает затраты на обслуживание.

В заключение следует отметить, что комплексный подход, сочетающий совершенствование технологии хранения и строгий контроль над технологическим процессом, является наиболее эффективным способом борьбы с потерями от испарения нефтепродуктов. Выбор оптимальной стратегии зависит от конкретных условий эксплуатации резервуарного парка, типа хранимых нефтепродуктов. Постоянное совершенствование технологий и внедрение инновационных решений остаются актуальной задачей для минимизации потерь и обеспечения экологической безопасности нефтегазовой отрасли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Михайлова, В. А. Обеспечение безопасной эксплуатации резервуаров с помощью дыхательного оборудования / В. А. Михайлова, И. Э. Лукьянова, С. Г. Аксенов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – Т. 1. – С. 445-447. – EDN YXLOQX.

2 Спиридонов, Е. К. О работе жидкостного эжектора при малых коэффициентах эжекции / Е. К. Спиридонов, С. Ю. Битюцких // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 1-2. – С. 538-542. – EDN SNGZLL.

3. Оборудование резервуаров : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 130501 "Проектирование, сооружение, и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ" / Н. И. Коновалов, Ф. М. Мустафин, Г. Е. Коробков [и др.]. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2005. – 214 с. – (СТ. Сооружение объектов газонефтепроводов). – ISBN 5-94423-076-2. – EDN QNEAHJ.

4. Султанов, М. Х. Совершенствование конструкций оборудования резервуаров / М. Х. Султанов, Г. М. Гималетдннов, Д. М. Саттарова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2004. – № 63. – С. 149-152. – EDN JSHGDV.

5. Бутолин, С. В. Классификация отказов резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов / С. В. Бутолин, Г. А. Чернова // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 27-28. – EDN BUVLKE.

УДК 62-799

Бородихин Максим Владимирович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Borodikhin Maxim Vladimirovich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Отряскина Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Otryaskina Tatyana Aleksandrovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

УВЕЛИЧЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНОГО ПЕРИОДА ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

INCREASE IN THE INTER-REPAIR PERIOD OF HEAT EXCHANGE EQUIPMENT

Аннотация. В статье рассматриваются способы увеличения межремонтного периода теплообменного оборудования, которые являются важным элементом для эффективности большинства промышленных процессов. Анализируются факторы, оказывающие влияние на надежность и долговечность теплообменников (коррозия, загрязнения, термические напряжения и вибрация). Также в статье рассматриваются различные методы повышения ресурса оборудования, которые включают в себя выбор оптимальных материалов, применение защитных покрытий, совершенствование конструкции, внедрение систем мониторинга и диагностики, оптимизацию режимов эксплуатации, методов очистки.

Abstract. The article discusses ways to increase the maintenance period of heat exchange equipment, which are an important element for the efficiency of most industrial processes. The factors that affect the reliability and durability of heat exchangers (corrosion, contamination, thermal stresses and vibration) are analyzed. The article also discusses various methods of increasing the life of equipment, which include the selection of optimal materials, the use of protective coatings, design improvements, the introduction of monitoring and diagnostic systems, optimization of operating modes, and cleaning methods.
Ключевые слова: теплообменник, межремонтный период, надежность, коррозия, загрязнение, мониторинг состояния, оптимизация, водно-химический режим
Keywords: heat exchanger, maintenance interval, reliability, corrosion, fouling, condition monitoring, optimization, water-chemical regime.

Теплообменное оборудование является важной частью большинства промышленных процессов, таких как энергетика, химическая, нефтехимическая, пищевая промышленности, а также системы отопления и кондиционирования воздуха. Надежность и эффективность работы теплообменников напрямую зависит их энергоэффективность, производительность, безопасность технологического процесса. Увеличение межремонтного периода и повышение технического уровня теплообменного оборудования выступают важными задачами, которые должны быть направленны на снижение эксплуатационных затрат, повышение общей производительности и минимизацию простоев [1].

Срок службы и межремонтный период теплообменного оборудования зависят от множества факторов, которые можно разделить на следующие группы [2]:

-выбор материала оказывает решающее влияние на устойчивость к коррозии, эрозии и другим видам разрушения;

-температура, давление, состав теплоносителей, скорость потока, наличие агрессивных примесей определяют интенсивность износа, а также коррозии;

-конструкция теплообменника влияет на распределение тепловых напряжений, турбулентность потока, склонность к загрязнению;

-частота пусков, остановок, перепады температур и давлений, а также наличие гидроударов могут существенно сократить срок службы;

-регулярная очистка, контроль параметров теплоносителя, своевременное выявление и устранение неисправностей являются важными факторами для поддержания работоспособности;

-контроль pH, жесткости и содержания растворенного кислорода в теплоносителе имеет решающее значение для предотвращения коррозии и образования отложений.

Основными причинами выхода из строя теплообменного оборудования являются:

-разрушение металла под воздействием химических или электрохимических процессов;

-образование отложений на поверхности теплообмена, снижающее теплопередачу, а также увеличивающее гидравлическое сопротивление;

-механический износ поверхности под воздействием потока жидкости (газа), содержащего твердые частицы;

-разрушение металла под воздействием циклических нагрузок (температурных, механических);

-возникновение резонансных колебаний, приводящих к разрушению сварных соединений;

-резкие скачки давления, возникающие при быстром изменении скорости потока жидкости.

Для увеличения межремонтного периода и повышения технического уровня теплообменного оборудования необходимо принять следующие меры:

-использование коррозионностойких материалов, таких как нержавеющие стали, титановые сплавы, специальные сплавы на основе никеля, в зависимости от условий эксплуатации [3];

-нанесение антикоррозионных, термостойких и износостойких покрытий на поверхность теплообмена;

-оптимизация геометрии теплообменных элементов для снижения гидравлического сопротивления, предотвращения образования застойных зон и облегчения очистки;

-установка датчиков температуры, давления, расхода, вибрации, коррозионного потенциала и других параметров для контроля состояния оборудования в режиме реального времени;

-поддержание оптимальных параметров теплоносителей, избегание резких перепадов температур и давлений, снижение вибрации;

- химической, механической, гидродинамической очистки для удаления отложений и поддержания высокой эффективности теплообмена;

-поддержание оптимальных параметров теплоносителя (pH, жесткость, содержание растворенного кислорода) для предотвращения коррозии и образования отложений;

-добавление специальных химических веществ в теплоноситель для замедления коррозионных процессов и предотвращения образования отложений.

В таблице 1 приведена Классификация методов повышения надежности теплообменного оборудования [4].

Таблица 1 – Классификация методов повышения надежности теплообменного оборудования [4]

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Выбор оптимальных материалов	Использование коррозионностойких, износостойких и термостойких материалов для изготовления теплообменных элементов.	Повышение устойчивости к коррозии, эрозии и другим видам разрушения, увеличение срока службы.	Высокая стоимость материалов, сложность обработки и сварки.
Применение защитных покрытий	Нанесение антикоррозионных, термостойких и износостойких покрытий на поверхность теплообмена.	Защита металла от воздействия агрессивных сред, снижение скорости коррозии, увеличение срока службы.	Ограниченный срок службы покрытий, необходимость периодического обновления, возможное снижение теплопередачи.
Совершенствование конструкции	Оптимизация геометрии теплообменных элементов для снижения гидравлического сопротивления, предотвращения образования застойных зон.	Улучшение теплопередачи, снижение энергозатрат, уменьшение склонности к загрязнению.	Сложность разработки и внедрения, необходимость проведения испытаний и расчетов.
Внедрение систем мониторинга	Установка датчиков температуры, давления, расхода, вибрации, коррозионного потенциала и других параметров для контроля состояния.	Своевременное выявление неисправностей, предотвращение аварий, оптимизация режимов эксплуатации, повышение эффективности технического обслуживания.	Высокая стоимость оборудования, необходимость квалифицированного персонала для обслуживания и анализа данных.

Продолжение таблицы 1

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Оптимизация режимов эксплуатации	Поддержание оптимальных параметров теплоносителей, избежание резких перепадов температур и давлений, снижение вибрации.	Уменьшение интенсивности износа и коррозии, продление срока службы оборудования, снижение энергозатрат.	Необходимость точного контроля и регулирования параметров, возможное снижение производительности при отклонении от оптимальных режимов.
Регулярная очистка	Проведение химической, механической или гидродинамической очистки для удаления отложений и поддержания высокой эффективности.	Восстановление теплопередачи, снижение гидравлического сопротивления, предотвращение коррозии под отложениями.	Затраты на очистку, возможность повреждения поверхности теплообмена при неправильном выборе метода очистки, необходимость остановки оборудования на время очистки.
Оптимизация водно-химического режима	Поддержание оптимальных параметров теплоносителя (pH, жесткость, содержание растворенного кислорода).	Предотвращение коррозии и образования отложений, продление срока службы оборудования, улучшение теплопередачи.	Необходимость постоянного контроля и регулирования параметров, затраты на химические реагенты.

Увеличение межремонтного периода и повышение технического уровня теплообменного оборудования требуют комплексного подхода, который должен включать в себя выбор оптимальных материалов, совершенствование конструкции, внедрение систем мониторинга, диагностики, оптимизацию режимов эксплуатации, регулярную очистку и поддержание оптимального водно-химического режима. Применение рассмотренных мер позволит значительно увеличить надежность и долговечность теплообменников, снизить эксплуатационные затраты и повысить общую производительность промышленных процессов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ларкин, Д. К. Тепломассообменное оборудование предприятий : Учебное пособие / Д. К. Ларкин. – 2-е изд.. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 1 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-12032-5. – EDN YIWWVC.

2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева ; М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 3-е изд., репр.. – Москва : Изд. Дом "Бастет", 2010. – ISBN 978-5-903178-20-9. – EDN QMKZMJ.

3. Дьяконов, В. Г. Основы теплопередачи и массообмена : Учебное пособие / В. Г. Дьяконов, О. А. Лонщаков. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2015. – 244 с. – ISBN 978-5-7882-1813-7. – EDN KCOJFJ.

4. Отряскина, Т. А. Повышение эффективности теплообмена в кожухотрубчатых аппаратах путем совершенствования конструкции межтрубного пространства / Т. А. Отряскина, А. Н. Тактарова // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2024. – № 5. – С. 195-197. – DOI 10.36652/0202-3350-2024-25-5-195-197. – EDN NTPOQV.

УДК 621.791
Войтович Роман Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Voytovich Roman Alexeyevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Бахматов Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологии сварочного и металлургического производства им. В.И. Муравьева», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bakhmatov Pavel Vyacheslavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department «Welding and Metallurgical Production Technologies named after V.I. Muravyev», Komsomolsk-na-Amure State University

ОСОБЕННОСТИ КОРНЕВОГО ДЕФЕКТА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ БЕЗ ПОДДУВА

FEATURES OF THE ROOT DEFECT IN THE ARC WELDING OF AUSTENITIC STEELS WITHOUT BLOWING

Аннотация. В работе проведен анализ причин образования такого дефекта, как окисление корня сварного шва при сварке аустенитных сталей без поддува. Установлено неблагоприятное влияние окисления корня на снижение коррозионной стойкости и эксплуатационных свойств. В качестве мер предотвращения окисления корня шва аустенитных сталей было предложено использовать поддув защитного газа во внутреннюю полость трубы или непосредственно в корень сварного шва с целью его защиты от кислорода, содержащегося в атмосфере.
Abstract. The paper analyzes the causes of the formation of such a defect as oxidation of the weld root during welding of austenitic steels without blowing. The adverse effect of root oxidation on reducing corrosion resistance and operational properties has been established. As measures to prevent oxidation of the seam root of austenitic steels, it was proposed to use blowing a protective gas into the inner cavity of the pipe or directly into the root of the weld in order to protect it from oxygen contained in the atmosphere.
Ключевые слова: аустенитные стали, дуговая сварка, дефекты сварного соединения, поддув защитного газа, защита сварного шва.
Keywords: austenitic steels, arc welding, weld defects, protective gas blowing, weld protection.

Дуговая сварка деталей из нержавеющей стали является одним из наиболее часто используемых способов соединения металлических изделий благодаря своей эффективности, скорости и качеству получаемых сварных швов. Однако, если не применять предупредительные меры, данный процесс может сопровождаться образованием различных дефектов, которые негативно влияют на качество сварного шва и могут привести к дальнейшим его разрушениям.

В работе рассмотрен вопрос необходимости защиты корня сварного шва поддувом защитного газа с целью предотвращения образования такого дефекта, как окисление корня шва, а также выполнена разработка рекомендаций по предотвращению и устранению данного дефекта. При дуговой сварке трубопроводов из аустенитных сталей сварной шов защищается от воздействия окружающей среды подачей газообразного аргона и его смесей [1, 2]: в зону горения дуги – для защиты сварочной ванны и сварного шва; во внутреннюю полость трубы или непосредственно в корень – для защиты корня сварного шва.

Нержавеющие стали (12Х18Н10Т, 09Х18Н10Т и т.п.), используемые в конструкциях ТПС ЛА при нагревании в ходе сварки до температуры плавления, посредством растворимости газов из атмосферы воздуха (особенно кислорода) в титане, хроме, никеле (основных легирующих элементах) сильно окисляются, создавая шлакообразную тугоплавкую корочку на поверхности шва, и требуют оттеснения воздуха из ЗТВ, поскольку наличие такой окисной пленки на внутренней поверхности ответственных конструкций недопустимо [3, 4].

Необходимость организации газовой защиты корневого валика как средства от образования оксидного слоя дает дополнительный ресурс управления геометрическими параметрами наплавляемого шва – высотой усиления (вогнутость и выпуклость), регулированием внутренним давлением поддуваемого газа.

Оксиды в корне шва (рисунок 1) проявляются в виде:

- темно-серых, синеватых или черных пятен и пленок – особенно заметны после сварки без защиты или при недостаточном продуве;
- шероховатой, пористой поверхности – вместо гладкого металла видна зернистая или чешуйчатая структура;
- цветов побежалости (от соломенного до фиолетового) – указывают на окисление при высоких температурах;
- хрупких, легко отслаивающихся «корочек» – особенно при наличии TiO_2 или Al_2O_3.

а) б)

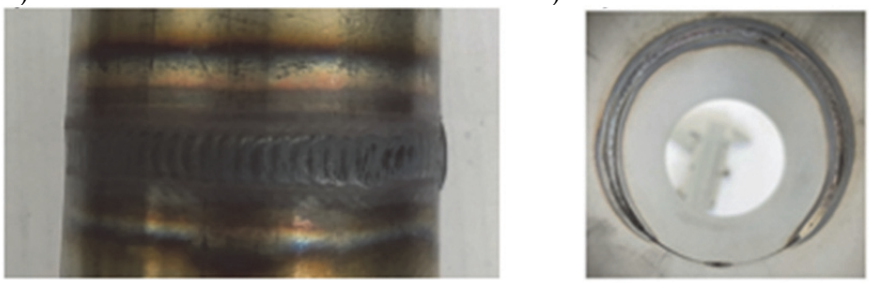


Рисунок 1 – Общий вид лицевой и обратной сторон шва и его дефектности:
а – дефекты лицевой стороны шва; б – дефекты обратной стороны шва

Корень шва может окисляться при недостаточном потоке защитного газа, при его загрязненности, повышенной влажности, или же при полном отсутствии его подачи. Отсутствие поддува зачастую является нарушением технологии и особенно критично для труб с малым диаметром, поскольку удаление оксидного слоя внутри может оказаться проблемой. Загрязнение свариваемых кромок маслом, краской, следами пальцев также способствует образованию окислов, поскольку органические соединения при сварке сгорают, образуя CO и CO_2, кислород которых растворяется в расплавленном металле шва, соединяясь с легирующими элементами, образуя оксиды. Наличие влаги, которая состоит из кислорода и водорода, также способствует окислению.

Окисление корня шва оказывает неблагоприятное влияние на механические и эксплуатационные свойства, коррозионную стойкость нержавеющих сталей:

а) Снижение пластичности и ударной вязкости. Оксидные включения (Cr_2O_3, TiO_2, Al_2O_3 и др.) создают хрупкие зоны в металле шва. При динамических нагрузках или вибрациях (например, в трубопроводах) эти зоны становятся концентраторами напряжений, повышая риск хрупкого разрушения;

б) Снижение прочности. Оксиды нарушают однородность структуры, уменьшая нагрузочную способность соединения. При высоких температурах (например, в теплообменниках) оксидные пленки ускоряют creep-деформацию (ползучесть);

в) Повышенная склонность к горячим и холодным трещинам. Оксиды увеличивают интервал хрупкости при кристаллизации, способствуя образованию горячих трещин. При охлаждении из-за разницы коэффициентов теплового расширения между металлом и оксидами возникают микротрещины;

г) Межкристаллитная коррозия. Оксиды хрома (Cr_2O_3) снижают содержание свободного Cr в матрице стали ниже 12%, что необходимо для пассивации. В зоне термического влияния (ЗТВ) при температурах 450–850°C образуются карбиды хрома ($Cr_{23}C_6$) по границам зерен, создавая гальванические пары. Результат – коррозия распространяется по границам зерен, приводя к потере прочности без видимых изменений поверхности;

д) Питтинговая коррозия. Оксидные включения (особенно Al_2O_3 и SiO_2) нарушают однородность пассивного слоя. В средах с хлоридами (морская вода, химические растворы) вокруг оксидов возникают локальные коррозионные язвы;

е) Щелевая коррозия. Пористые оксидные скопления в корне шва создают зоны застоя агрессивной среды. В узких зазорах (например, под непроварами) развивается интенсивная локальная коррозия.

Поскольку окисление корня шва оказывает большое негативное влияние на неразъемные соединения, а удаление оксидного слоя уменьшает внутреннее усиление шва и ослабляет соединение, необходимо осуществлять поддув защитного газа в полном объеме, уменьшая риск возникновения окисления.

В ходе проведенного исследования был проанализирован механизм образования дефекта в виде окисления корня сварного шва при сварке аустенитных нержавеющих сталей без применения поддува защитного газа. Установлено, что данный дефект приводит к значительному ухудшению коррозионной стойкости, снижению механической прочности и эксплуатационной надежности сварного соединения.

Основной причиной окисления является контакт расплавленного металла с кислородом воздуха, что приводит к образованию оксидов хрома и других элементов, нарушающих структуру шва. Это не только снижает коррозионную стойкость, но и способствует образованию трещин, пор и других дефектов, ослабляющих соединение.

В качестве эффективной меры предотвращения окисления предложено использование поддува инертного газа (аргона) во внутреннюю полость трубы или непосредственно в зону корня шва. Данный метод обеспечивает вытеснение кислорода и создает защитную среду, препятствующую образованию оксидов. Это позволяет сохранить химическую и структурную однородность металла шва, повысить его коррозионную стойкость и механические характеристики.

Таким образом, применение поддува защитного газа является необходимым технологическим условием при сварке аустенитных нержавеющих сталей, особенно в ответственных конструкциях, работающих в агрессивных средах. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию режимов подачи газа и разработку альтернативных методов защиты для сложных конфигураций соединений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ПИ 1.4.748-80 Дуговая сварка трубопроводов из нержавеющих сталей в среде инертных газов = Arc welding of stainless steel pipelines in an inert gas environment : производственная инструкция : утверждена и зарегистрирована ПК 10 от 10 июня 1980 : взамен ПИ-128-67 : дата введения 1981-01-01 / разработана ОАО НИАТ. – Москва : ИПК ОАО НИАТ, 1980. – 59 с.

2. ПИ 1.4.75-2000 Дуговая сварка в среде защитных газов конструкционных, нержавеющих и жаропрочных сталей и сплавов = Arc welding in shielded gases of structural, stainless and heat-resistant steels and alloys : производственная инструкция : утверждена и зарегистрирована ПК 10 от 01 января 2001 : взамен ПИ 75-88 : дата введения 2001-01-01 / разработана ОАО НИАТ. – Москва : ИПК ОАО НИАТ, 2000. – 116 с.

3. Масаков, В. В., Масакова, Н. И., Мельзитдинова, А. В. Сварка нержавеющих сталей. - Тольятти : ТГУ, 2011. - 184 с.

4. Taban E., Kaluc E., Aykan T. S. Effect of the Purging Gas on Properties of 304H GTA Welds // Welding Journal. 2014. Vol. 93, № 4. P. 124–130.

5. Кравченко, А. С. Разработка технологических рекомендаций по повышению качества сварных соединений элементов трубопроводных систем из нержавеющих сплавов авиационного назначения / А. С. Кравченко, П. В. Бахматов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2021. – № 1(730). – С. 41-53. – DOI 10.18698/0536-1044-2021-1-41-53. – EDN MMJIPH.

УДК 621.785.5
Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Dmitriev Konstantin Yuryevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Belova Inna Valerievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ 40Х

INFLUENCE OF LASER TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE SURFACE LAYER OF 40X STEEL

Аннотация. В статье представлено экспериментальное исследование влияния лазерной термической обработки на микроструктуру и микротвёрдость стали 40Х. Проведено сравнение трёх различных режимов лазерного воздействия по мощности и скорости сканирования. С применением оптической и электронной микроскопии исследованы фазовые изменения, глубина упрочнённого слоя и морфология структуры. Получены зависимости между режимами обработки и свойствами поверхности, подтверждена эффективность лазерного упрочнения для повышения ресурса деталей.
Abstract. The article presents an experimental study of the effect of laser heat treatment on the microstructure and microhardness of 40X steel. Three different laser exposure regimes were compared in terms of power and scanning speed. Using optical and electron microscopy, phase transformations, depth of the hardened layer, and structural morphology were studied. Dependencies between processing modes and surface properties were obtained, confirming the effectiveness of laser hardening for increasing the service life of components.
Ключевые слова: лазерная обработка, сталь 40Х, поверхностное упрочнение, микроструктура, микротвёрдость.
Key words: laser treatment, 40X steel, surface hardening, microstructure, microhardness.

Современное машиностроение предъявляет всё более жёсткие требования к надёжности и долговечности деталей. В условиях высоких контактных и ударных нагрузок, абразивного износа и переменных температур особое значение приобретает прочность и износостойкость поверхностного слоя. Одним из прогрессивных методов поверхностного упрочнения является лазерная термическая обработка, позволяющая локально изменять структуру без деформации всей детали.

Лазерное воздействие обеспечивает высокую скорость нагрева и охлаждения, что приводит к формированию мартенситной структуры и значительному повышению твёрдости. При этом отсутствует необходимость в объёмной термообработке, снижается деформация и остаётся возможность точного дозирования глубины упрочнённого слоя. Данный метод нашёл широкое применение в производстве штампов, валов, кулачков, направляющих и других деталей с высоким уровнем требований к износостойкости [1]. Целью настоящего исследования является оценка влияния различных режимов лазерной обработки на структуру и свойства поверхностного слоя конструкционной стали 40Х.

Материалы и методы для проведения лазерной обработки была выбрана траектория в виде параллельных линий с перекрытием около 30%. Сканирование производилось в одном направлении, без возвратных проходов. Расчёт тепловложений выполнялся по формуле:

$$Q = P/(v \cdot d)$$

где Q — линейная энергия (Дж/мм²), P — мощность лазера (Вт), v — скорость перемещения (мм/с), d — диаметр пятна лазера (мм). Средняя плотность энергии при режиме С составила более 60 Дж/мм², что обеспечивало глубокое прогревание поверхности и формиро-

вание полноценной мартенситной структуры. Температура в зоне воздействия достигала 950–1100 °C, скорость охлаждения — до 103–104 К/с [2].

Контроль качества обработки производился по: глубине упрочнённого слоя; микроструктуре (оптика + SEM); микротвёрдости (через каждые 50 мкм); визуализации трещин на шлифах; оценке остаточных напряжений методом рентгеновской дифрактометрии. В качестве исследуемого материала использовалась углеродистая конструкционная сталь 40Х, широко применяемая в производстве износостойких деталей. Образцы (размер 15×15×8 мм) были предварительно закалены и отпущены до твёрдости 32 HRC. Процесс включал нагрев стали до температуры 840 °C, выдержку в течение 30 минут с последующим охлаждением в масле, что обеспечивало формирование мартенситной структуры. После закалки проводился высокий отпуск при температуре 600 °C в течение 1 часа, в результате чего достигалась структура сорбита с равномерной твёрдостью и снятием внутренних напряжений. Такой подход позволил получить стабильную исходную структуру для оценки изменений при лазерной обработке. Для лазерной обработки использовалась установка с источником волоконного лазера IPG мощностью до 2 кВт [3]. Применялись три режима лазерной термообработки: режим А: мощность 700 Вт, скорость сканирования 1200 мм/мин; режим В: мощность 1000 Вт, скорость сканирования 800 мм/мин; режим С: мощность 1300 Вт, скорость сканирования 500 мм/мин.

Для охлаждения использовался воздух, направление сканирования — линейное, перекрытие — 30%. После обработки образцы шлифовались, травились (5% HNO_3 в спирте), проводился микроструктурный анализ с использованием оптического и сканирующего электронного микроскопа. Микротвёрдость определялась методом Виккерса под нагрузкой 200 г через каждые 50 мкм по глубине.

Экспериментальные результаты:

Дополнительно были введены два новых режима обработки: режим D: мощность 1600 Вт, скорость 450 мм/мин; режим Е: мощность 1800 Вт, скорость 300 мм/мин, двойной проход. Оба режима позволили увеличить глубину упрочнённого слоя до 600–720 мкм. Однако в режиме Е наблюдалось значительное увеличение остаточных напряжений и появление сетки микротрещин на глубине 150–250 мкм, что свидетельствует о термическом перегреве и резком градиенте охлаждения.

Измерения шероховатости поверхности (профилометр Mitutoyo) показали рост параметра Ra с 0.45 до 1.2 мкм при переходе от режима А к Е. Это указывает на необходимость шлифовки после интенсивных режимов.

Полученные данные показали закономерную зависимость: увеличение мощности и снижение скорости обработки увеличивают глубину упрочнённого слоя и максимальную твёрдость. При этом в режиме С наблюдается повышенная неоднородность структуры, возможны зоны перегрева и трещинообразования [4].

Фрактографический анализ показал, что в режимах А и В характер разрушения имел вязко-пластический тип, микротрещины отсутствовали. В режиме С фиксировались единичные трещины у границ зон плавления. В режиме D — микротрещины до 20 мкм, ориентированные по направлению теплового потока. В режиме Е — сплошные термические трещины в приповерхностной зоне, глубиной до 0.2 мм. Это указывает на перегрев и превышение критических скоростей охлаждения.

В таблице 1 указано сравнение режимов лазерной обработки.

Таблица 1 – Сравнение режимов лазерной обработки

Режим	Мощность (Вт)	Скорость (мм/мин)	Глубина упрочнённого слоя (мкм)	Максимальная микротвёрдость, HV	Структура
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
А	700	1200	220	620	Мартенсит + остаточный феррит

Продолжение таблицы 1

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
B	1000	800	380	710	Мартенсит (мелкий)
C	1300	500	510	765	Мартенсит + цементитные включения
D	1600	450	620	780	Мартенсит, зоны перегрева
E	1800	300	720	795	Мартенсит + трещины + цементит

Лазерная обработка демонстрирует высокую эффективность как метод локального упрочнения, особенно в тех случаях, когда недопустима общая термообработка детали. Среди основных преимуществ: точный контроль глубины воздействия; отсутствие деформаций корпуса детали; минимизация постобработки; высокая производительность при серийной обработке [5]. Метод находит применение в обработке кулачков ГРМ, направляющих, шестерён, штоков, валов, буровых элементов, штампов. При правильной настройке режима (оптимально — B и C) достигается увеличение ресурса детали до 2.5–3 раз без снижения размеров и массы.

Лазерная термообработка стали 40Х позволяет эффективно формировать поверхностный упрочнённый слой с высокой твёрдостью (до 765 HV) и контролируемой глубиной. Оптимальным по сочетанию прочности и структуры оказался режим B (1000 Вт, 800 мм/мин), обеспечивший равномерное мартенситное упрочнение при умеренных термических нагрузках. Результаты подтверждают высокую применимость лазерной технологии при упрочнении деталей машин, особенно там, где требуется локальная термообработка без деформации основы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов" направления подготовки "Машиностроительные технологии и оборудование" / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. – 2-е издание, стереотипное. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2008. – 663 с. – ISBN 978-5-7038-2701-7. – EDN QNBYKP.

2. Федоров, Б. М. Технология и оборудование лазерной обработки. Часть 2 / Б. М. Федоров, Н. А. Смирнова. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2014. – 36 с. – ISBN 978-5-7038-3831-0. – EDN ZCKXQX.

3. Комбинированные технологии лазерной обработки материалов / В. Н. Анциферов [и др.] ; под общ. ред. И. В. Суминова, В. А. Сорокина ; Машиностроит. конструкторское бюро "Искра" им. И. И. Картукова (г. Москва) [и др.]. – Москва ; : Реноме, 2012. – ISBN 978-5-91918-130-9. – EDN QNAIQV.

4. Богданов, А. В. Теоретические основы лазерной обработки / А. В. Богданов, А. И. Мисюров, Н. А. Смирнова. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2006. – 23 с. – ISBN 5-7038-2844-9. – EDN ZCKNEZ.

5. Кузнецов, В. П. Технологии формирования и методы исследования наноструктурированного поверхностного слоя конструкционных материалов : Рекомендовано методическим советом Уральского федерального университета для студентов вуза, обучающихся по направлениям подготовки 22.03.01, 22.04.01 / В. П. Кузнецов, А. С. Скоробогатов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Уральский

федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2020. – 188 с. – ISBN 978-5-7996-3014-0. – EDN URXFEA.

УДК 620.179.16
Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Dmitriev Konstantin Yuryevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Belova Inna Valerievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk- na-Amure State University

ВЛИЯНИЕ УГЛА ВВОДА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ НА ТОЧНОСТЬ ВЫЯВЛЕНИЯ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН

INFLUENCE OF ULTRASONIC BEAM INCIDENCE ANGLE ON THE ACCURACY OF INCLINED CRACK DETECTION

Аннотация. В статье рассматривается влияние угла ввода ультразвуковой волны на результативность выявления наклонных трещин в металлических образцах. Проведены экспериментальные исследования с различными углами ввода, выявлены зависимости между ориентацией дефекта и устойчивостью эхосигнала. Работа включает подробный анализ природы ультразвукового взаимодействия с наклонными поверхностями, обсуждение проблематики интерпретации эхосигналов и предложенные практические меры по оптимизации контроля. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методик контроля для ответственных конструкций с потенциальным риском наклонных трещин.
Abstract. The article examines the influence of ultrasonic wave incidence angle on the efficiency of detecting inclined cracks in metallic samples. A series of experimental investigations was carried out using a range of incidence angles to determine the echo response behavior in various defect orientations. The study provides a detailed analysis of ultrasonic interaction mechanisms with inclined flaws, highlights the challenges in interpreting echo signals, and proposes practical measures to improve detection accuracy. The results can be applied in developing control techniques for critical structures susceptible to inclined cracking.
Ключевые слова: ультразвуковая дефектоскопия, угол ввода, наклонные трещины, отражение, неразрушающий контроль, эхосигнал, дефектоскоп.
Key words: ultrasonic flaw detection, incidence angle, inclined cracks, reflection, non-destructive testing, echo signal, flaw detector.

Одной из приоритетных задач современного материаловедения и промышленной диагностики является выявление скрытых дефектов, способных повлиять на прочность и безопасность конструкций. В ряде случаев трещины образуются под углом к поверхности вследствие технологических, эксплуатационных или климатических факторов. Такие дефекты трудно поддаются визуальному контролю и требуют применения более сложных методов диагностики. Ультразвуковая дефектоскопия благодаря своей чувствительности, глубине проникновения и мобильности аппаратуры широко используется в неразрушающем контроле. Однако эффективность метода в значительной степени зависит от условий проведения измерений, в частности — от угла ввода ультразвукового луча. Отражение сигнала от наклонных поверхностей происходит по законам геометрической акустики, и при несоответствии углов падающая волна может не попасть обратно в приёмник, создавая иллюзию отсутствия дефекта.

Настоящая работа направлена на системное исследование влияния угла ввода на достоверность регистрации дефектов наклонной ориентации. В работе представлены теоретические основы, экспериментальная методика, анализ полученных эхограмм и практические рекомендации для промышленных применений [1].

Методика и условия эксперимента для проведения серии испытаний были изготовлены цилиндрические образцы из стали 45 с диаметром 20 мм и длиной 80 мм. На глубине 20 мм методом электроэрозионной обработки были сформированы наклонные надрезы под углами 30°, 45°, 60° и 75°, имитирующие реальные трещины. Такое исполнение позволило обеспечить стабильность геометрии дефекта и его воспроизводимость при измерениях [2].

В качестве измерительного оборудования применялся дефектоскоп УД2-70 с наклонными преобразователями на 45°, 60° и 70°. Контроль осуществлялся импульсно-эховым методом, позволяющим зарегистрировать отражённую волну, возвращающуюся к датчику. Для повышения точности на каждом образце производилось сканирование поверхности с шагом 1 мм.

Контакт обеспечивался через стандартный акустический гель. Для каждого угла наклона трещины проводились измерения при всех трёх углах ввода. Фиксировались параметры: амплитуда эхосигнала, стабильность регистрации, форма сигнала и его повторяемость при повторных сканированиях. Эти параметры использовались для построения сравнительных графиков и таблиц. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты ультразвукового контроля при разных углах ввода

Угол наклона трещины	Угол ввода 45°	Угол ввода 60°	Угол ввода 70°
30°	слабый сигнал	нет сигнала	нет сигнала
45°	устойчивый	слабый	нет сигнала
60°	слабый	устойчивый	слабый
75°	нет сигнала	слабый	устойчивый

Результаты и обсуждение Анализ данных показал чёткую зависимость между ориентацией дефекта и эффективностью его регистрации. При совпадении угла наклона трещины и угла ввода наблюдался устойчивый и повторяющийся эхосигнал. При отклонении более чем на 15° сигнал терялся или искажался до неузнаваемости.

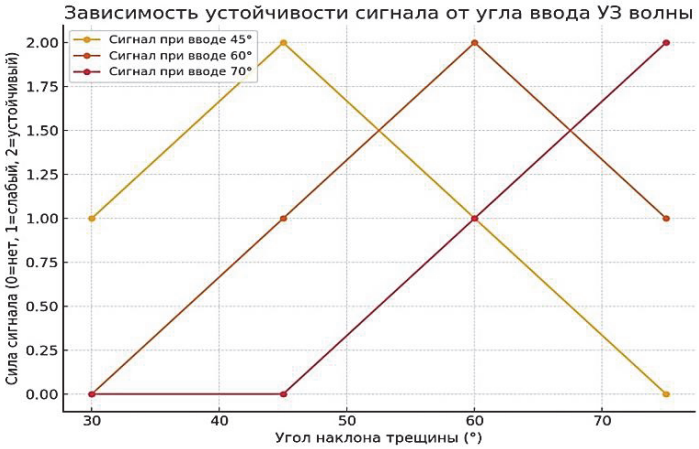


Рисунок 1 - зависимость амплитуды сигнала от соответствия углов.

Например, при угле трещины 60° стабильный сигнал регистрировался только при угле ввода 60°, тогда как при 45° и 70° отклик либо отсутствовал, либо был слабым. Это объясняется отражением ультразвуковой волны по зеркальному принципу, при котором отклик направлен не в сторону приёмника. Ситуация усугубляется при наличии шероховатости, неоднородности структуры и остаточных напряжений в металле.

На рисунке 1 представлена зависимость амплитуды сигнала от соответствия углов. Видно, что максимальные значения регистрируются вблизи совпадения ориентаций. Это позволяет использовать данные зависимости для предварительной настройки оборудования под предполагаемую геометрию дефекта [3]. Также было замечено, что при глубине трещин более 20 мм и высоких углах (60–75°) наблюдается ослабление сигнала за счёт затухания в материале. Это требует применения высокочастотных преобразователей и усиления чувствительности приёмника.

Практические рекомендации:

1. При контроле сварных соединений рекомендуется использовать как минимум два преобразователя с углами 45° и 70° для покрытия всего диапазона возможных наклонов трещин.

2. При сканировании сложнопрофильных деталей следует применять секторное сканирование или поворотные датчики.

3. Для сложных условий эксплуатации целесообразно использовать дефектоскопы с цифровой обработкой B- и C-сканирования.

4. При обнаружении слабого сигнала необходима повторная проверка с изменением угла ввода для исключения ложноположительных или ложноотрицательных результатов.

5. В перспективе возможно создание адаптивных алгоритмов, автоматически подбирающих угол ввода на основе анализа формы отражённого сигнала.

Проведённые эксперименты подтвердили ключевую роль угла ввода ультразвуковой волны при выявлении наклонных трещин. Полученные данные позволили систематизировать информацию по отражательной способности дефектов в зависимости от их ориентации и разработать практические рекомендации для повышения надёжности контроля.

В будущем работа может быть расширена за счёт применения численного моделирования распространения ультразвуковых волн в анизотропных средах, что позволит глубже понять процессы взаимодействия с дефектами различной конфигурации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алешин, Н. Особенности возбуждения и распространения ультразвуковых волн / Н. Алешин, А. Ремизов, А. Дерябин. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2017. – 88 с. – ISBN 978-5-7038-4677-3. – EDN WUUKRK.

2. Алешин, Н. Методы измерения акустических параметров ультразвуковых волн / Н. Алешин, А. Ремизов, А. Дерябин. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2017. – 44 с. – ISBN 978-5-7038-4684-1. – EDN ZCUYOT.

3. Судаков, В. Ф. Волны и направляющие структуры в электротехнике : учебное пособие по курсу «Теоретические основы электротехники» / В. Ф. Судаков. - Москва : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2010. - 32 с. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2160950 (дата обращения: 09.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

УДК 620.178.3

Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Dmitriev Konstantin Yuryevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Belova Inna Valerievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ИСПЫТАНИЯ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

FATIGUE STRENGTH TESTING OF MATERIALS AND ITS SIGNIFICANCE IN MECHANICAL ENGINEERING

Аннотация**.** Настоящее исследование посвящено экспериментальной оценке усталостной прочности стали 45 — одного из самых распространённых материалов в машиностроении. Представлены данные по числу циклов до разрушения при различных уровнях нагрузки. Проведен анализ характера излома, выявлены факторы, влияющие на выносливость, и обоснована важность систематического учёта усталостных характеристик при проектиро-

вании и эксплуатации деталей, работающих в условиях переменных нагрузок. Также рассмотрены рекомендации по снижению риска преждевременного разрушения конструкций.
Abstract. The present study is dedicated to the experimental evaluation of the fatigue strength of Steel 45 — one of the most widely used materials in mechanical engineering. The research provides data on the number of cycles to failure under various load levels. An analysis of the fracture characteristics has been carried out, factors influencing fatigue life have been identified, and the importance of systematically considering fatigue properties during the design and operation of components under variable loading conditions has been substantiated. The study also includes recommendations for reducing the risk of premature structural failure.
Ключевые слова: усталостная прочность, сталь 45, число циклов до разрушения, переменные нагрузки, машиностроение, микротрещины, излом, предел выносливости.
Key words: fatigue strength, steel 45, number of cycles to failure, variable loading, mechanical engineering, microcracks, fracture, endurance limit.

Современное машиностроение предъявляет высокие требования к долговечности и надёжности деталей. Часто разрушения происходят не в момент кратковременного перегруза, а в процессе длительной эксплуатации, когда материал подвергается многократным, но относительно небольшим по амплитуде нагрузкам. Это явление получило название усталости материала. Под воздействием переменных напряжений в теле материала появляются микротрещины, которые со временем увеличиваются. Когда критический размер трещины превышает предел прочности, происходит внезапное разрушение элемента. При этом внешне деталь может сохранять целостность вплоть до момента отказа, что делает усталостные разрушения особенно опасными.

Таким образом, анализ поведения материала при циклических нагрузках необходим для точного расчета срока службы, а также для проектирования безопасных и надёжных технических систем.

Усталость материала определяется его способностью сопротивляться разрушению под действием повторяющихся напряжений. Она зависит от ряда факторов:

- Структура и чистота материала (включения, дефекты, неоднородности);
- Форма и геометрия детали, наличие концентраторов напряжения;
- Условия нагружения — амплитуда, частота, асимметрия цикла;
- Среда эксплуатации — температура, влажность, коррозионная агрессивность;
- Поверхностное состояние — шероховатость, термообработка, наклёп.

Наиболее надёжным критерием для практики считается предел выносливости — максимальное напряжение, при котором материал способен выдерживать бесконечное число циклов (обычно принимается 10^6–10^7) без разрушения. Ниже этого предела металл считается безопасным в длительной эксплуатации.

Для проведения лабораторных испытаний в рамках данного исследования была выбрана сталь марки 45 — одна из наиболее распространённых конструкционных углеродистых сталей, активно применяемая в машиностроении. Эта марка известна хорошим сочетанием прочности, обрабатываемости и доступности, благодаря чему широко используется при изготовлении нагруженных элементов машин: валов, осей, рычагов, шестерён и других деталей, работающих в условиях переменных нагрузок. Химический состав и механические свойства стали 45 подробно изучены, что делает её удобным и надёжным объектом для сравнительных экспериментов. Для испытаний были изготовлены образцы цилиндрической формы, обладающие осевой симметрией, что обеспечивает равномерность нагружения и точность результатов. В центральной части каждого образца была предусмотрена искусственная концентрирующая канавка — элемент, создающий локальное повышение напряжения. Подобная геометрия приближает лабораторные условия к реальным эксплуатационным ситуациям, где концентрации напряжений часто возникают в местах переходов сечений, отверстий или надрезов [1]. Эксперименты проводились на специализированной установке для испытаний на вращательную усталость. В процессе испытания образец подвергался изгибу при постоянной частоте вращения — 5000 оборотов в минуту. Такая схема

нагружения позволяет моделировать длительное циклическое воздействие, типичное для деталей, работающих в условиях вибрации, кручения или колебаний.

Уровни прикладываемых нагрузок варьировались от высоких значений, приводящих к разрушению за десятки тысяч циклов, до умеренных, при которых разрушение не наступало даже спустя миллион циклов. Это позволило построить зависимость между амплитудой нагрузки и числом циклов до отказа, а также определить предел выносливости материала. Одновременно с механическим нагружением осуществлялся визуальный и фотоконтроль состояния образцов. Особое внимание уделялось фиксации момента разрушения и характеру излома — эти данные необходимы для последующего анализа микроструктурных повреждений и установления механизмов накопления усталостных дефектов.

В таблице 1 представлены усреднённые результаты по количеству циклов до разрушения при разных уровнях нагрузки.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Образец	Амплитуда нагрузки, МПа	Число циклов до разрушения
1	400	25 000
2	350	110 000
3	300	380 000
4	250	Более 1 000 000 (не разрушен)

При снижении амплитуды наблюдается резкое увеличение числа циклов до разрушения. У образца №4 при напряжении 250 МПа разрушение не наступило даже после 1 млн циклов, что позволяет сделать вывод о достижении предела выносливости стали в данной конфигурации.

Микроскопический анализ поверхностей разрушения выявил типичную усталостную картину: зону инициации трещины с концентрическими зонами роста (так называемая зона «раковины»), переходную область и финальный хрупкий излом. Эти особенности подтверждают, что разрушение происходило не внезапно, а было результатом длительного накопления повреждений [2]. Также важно отметить, что во всех случаях инициирование разрушения происходило в области концентрации напряжений — у канавки. Это подчёркивает важность снижения резких геометрических переходов в конструкциях.

На основании полученных данных можно выделить следующие рекомендации для машиностроительной отрасли: всегда учитывать усталостные характеристики материала при проектировании, особенно при вибрационных или динамических нагрузках; использовать материалы с повышенной чистотой и однородностью структуры для ответственных деталей; устранять резкие переходы в геометрии и снижать концентрации напряжений; применять поверхностное упрочнение, шлифовку и полировку рабочих поверхностей для снижения риска трещинообразования; планировать регламентные осмотры и не рассчитывать только на визуальный контроль — усталостные трещины могут развиваться скрытно [3]. Результаты подобных исследований необходимы при создании: авиационной и автомобильной техники; энергетических установок и турбин; железнодорожного транспорта; военной техники и систем безопасности.

Испытания на усталость позволяют внедрять надёжные методы контроля качества, прогнозировать поведение конструкций в долгосрочной перспективе и уменьшать вероятность аварий и поломок. Эксперимент подтвердил, что даже прочные материалы, такие как сталь 45, подвержены усталостному разрушению при многократных нагрузках. Правильное определение предела выносливости и внедрение инженерных решений для увеличения срока службы — важнейшие аспекты современной машиностроительной практики.

Систематическое проведение усталостных испытаний, наряду с расчётами и моделированием, позволяет разрабатывать более безопасные, долговечные и эффективные конструкции, что особенно критично в высокорисковых отраслях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зуев, Л. Б. Физические основы прочности материалов : учебное пособие / Л. Б. Зуев, В. И. Данилов. — 2-е изд. — Долгопрудный : Интеллект, 2016. — 376 с. - ISBN 978-5-91559-196-6. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1022501 (дата обращения: 09.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

2. Баранникова, С. А. Сопротивление материалов. Физические основы прочности конструкционных материалов : Учебное пособие / С. А. Баранникова. – 2-е издание, пересмотренное. – Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – 198 с. – ISBN 978-5-605-02450-7. – EDN FHGZCQ.

3. Быков, С. Ю. Испытания материалов : учебное пособие / С.Ю. Быков, А.Г. Схиртладзе. — Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2022. — 120 с. - ISBN 978-5-906923-84-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/1916408 (дата обращения: 09.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

УДК 620.186

Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Dmitriev Konstantin Yuryevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Belova Inna Valerievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

КОНТРОЛЬ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

CONTROL OF GRAIN STRUCTURE IN STEELS AND ALLOYS AS A FACTOR FOR IMPROVING THE RELIABILITY OF METALLIC PRODUCTS

Аннотация. В статье рассматривается важность контроля зеренной структуры сталей и сплавов как одного из ключевых факторов, определяющих надёжность и долговечность металлических изделий. Подробно описаны методы определения размеров зёрен, включая оптическую микроскопию, ультразвуковое зондирование и микротвёрдостные испытания. Установлена связь между размером зерна и прочностными характеристиками стали. Показано, что регулярный контроль и корректировка зеренной структуры позволяют существенно повысить качество продукции и предотвратить разрушения в процессе эксплуатации.
Abstract. The article highlights the importance of controlling the grain structure of steels and alloys as one of the key factors determining the reliability and durability of metallic products. Various methods for measuring grain size are described in detail, including optical microscopy, ultrasonic testing, and microhardness analysis. A correlation between grain size and the mechanical properties of steel is established. It is shown that regular monitoring and adjustment of grain structure can significantly improve product quality and help prevent failures during operation.
Ключевые слова: зерно, структура, прочность, надёжность, металл, термическая обработка
Key words: grain, structure, strength, reliability, metal, heat treatment

Зеренная структура металлических материалов — это совокупность кристаллитов (зёрен), формирующихся при кристаллизации, деформации и термической обработке. Именно размер и распределение этих зёрен оказывают существенное влияние на механические свойства стали, включая прочность, пластичность, ударную вязкость и стойкость к усталостным разрушениям.

На практике крупнозернистая структура может стать причиной хрупкого разрушения или локальной потери прочности, особенно в условиях переменных нагрузок или при низких температурах. Мелкозернистые структуры, наоборот, способствуют повышению

прочности и пластичности за счёт повышения плотности границ зёрен, которые препятствуют движению дислокаций.

Контроль зеренной структуры необходим как при изготовлении новых изделий, так и при анализе причин разрушений в эксплуатации. Современные подходы в инженерии требуют, чтобы структура металла могла быть управляемым параметром, адаптированным под конкретные условия эксплуатации [1].

Это особенно важно для критически нагруженных элементов, где недопустимы микротрещины и локальные концентрации напряжений. Зерно в металле — это участок монокристаллической решётки, ограниченный границами, где кристаллографическая ориентация меняется. Границы зёрен могут быть как барьером для пластической деформации, так и источником зарождения микротрещин. Чем меньше размер зерна, тем больше границ, а следовательно, выше сопротивление деформации.

Зависимость механических свойств от размера зерна описывается законом Холла—Петча:

$$\sigma = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$$

где σ — предел текучести, σ_0 — начальное сопротивление сдвигу, k — коэффициент упрочнения, d — диаметр зерна.

Таким образом, снижение размера зерна прямо повышает сопротивление пластической деформации и увеличивает прочность металла. Однако чрезмерно мелкое зерно может снизить вязкость разрушения, поэтому важен баланс между прочностью и пластичностью.

Методы контроля зеренной структуры:

1. Оптическая микроскопия (по ГОСТ 5639) это наиболее распространённый метод, позволяющий визуально наблюдать границы зёрен на подготовленных шлифах после травления. Применяются специальные реактивы: 4% раствор азотной кислоты в спирте, пикраль, и др. Подготовка включает шлифовку, полировку и травление поверхности. Размер зерна выражается в условных номерах (№ 1 — крупное зерно, № 12 — мелкое). Метод широко применяется благодаря доступности и высокой наглядности.

2. Микротвёрдостное зондирование позволяет косвенно судить о размере зерна: чем оно мельче, тем выше твёрдость. Применяется индентор Виккерса, нагрузка в пределах 100–500 г. Метод особенно полезен при анализе поверхностно-упрочнённых слоёв, цементации и азотировании. Полученные значения сравниваются с эталонными таблицами, определяющими структуру.

3. Ультразвуковая дефектоскопия это современный неразрушающий метод, основанный на рассеянии ультразвуковых волн на границах зёрен. Используются высокочастотные преобразователи (5–10 МГц). Применяется в случае невозможности извлечения шлифов, например, при контроле сварных швов, валов большого диаметра, труб большого сечения.

4. Электронная микроскопия позволяет определять субзеренные и наноструктуры, выявлять фазовые включения и остаточные дефекты после сварки или термообработки. Используется в научных лабораториях, авиа- и атомной промышленности, где особенно высоки требования к структуре и качеству металла [2].

В рамках данной работы особое внимание уделялось трём основным видам термической обработки: нормализации, закалке и отпуску, поскольку именно эти режимы позволяют существенно влиять на зеренную структуру сталей и, соответственно, на их механические свойства. Кроме того, был применён неразрушающий метод контроля — ультразвуковое зондирование, что позволило подтвердить однородность структуры исследуемых образцов и исключить наличие внутренних дефектов.

Нормализация заключалась в нагреве образцов до температуры 850–880 °C (для стали 20) и 860–890 °C (для стали 45), выдержке в течение 30–45 минут и последующем охлаждении на воздухе. Данный режим обеспечивает перераспределение структурных составляющих и способствует формированию равновесной феррито-перлитной структуры. Нормализация позволяет устранить грубое литейное зерно, повысить однородность и улучшить свариваемость материала. После нормализации наблюдалась структура с зерном № 6–7.

Закалка проводилась путём нагрева стали 45 до температуры аустенизации 850–870 °C, выдержки 30 минут и резкого охлаждения в воде. Такая термическая обработка приводит к формированию мартенситной структуры, которая характеризуется высокой твёрдостью, но одновременно и склонностью к хрупкому разрушению. Образовавшееся зерно имело крупный размер (№ 3–4), что объясняется отсутствием фазовых превращений в условиях быстрого охлаждения [3]. Отпуск после закалки проводился при температуре 500–550 °C в течение 1–1.5 часов с последующим охлаждением на воздухе. Цель отпуска — снятие внутренних напряжений и снижение хрупкости закалённой стали при сохранении прочности. В результате отпускного режима формировалась мелкозернистая структура (№ 8), наблюдались признаки сфероидизации перлита и образование вторичного цементита. Такая структура обеспечивает хороший баланс прочности и пластичности. Результаты: после нормализации — структура равномерная, зерно среднего размера (№ 6–7); после закалки — зерно резко укрупнено (№ 3–4), наблюдается склонность к пережогу; после отпуска — структура измельчена, наблюдается перлит в мелких колониях.

Была проведена корреляция с микротвёрдостью: более мелкое зерно дало повышение твёрдости на 8–12 %.

Контроль зеренной структуры позволяет точно оценить эффективность термической обработки; выявить технологические дефекты (пережог, недогрев); повысить надёжность и ресурс деталей без увеличения массы; оптимизировать структуру под конкретные нагрузки (ударные, вибрационные); применять в производстве труб, валов, шестерён, дисков турбин, сварных швов.

В современной промышленности структура контролируется также при 3D-печати металлов, наплавке, поверхностной обработке, где точность формы неразрывно связана со структурой материала [4].

Зеренная структура стали является одним из ключевых параметров, определяющих прочность, пластичность и надёжность изделия. Методы контроля, такие как оптическая микроскопия и микротвёрдость, позволяют эффективно оценить её параметры. Регулярный анализ структуры и корректировка режимов обработки — надёжный путь к повышению ресурса и качества металлоконструкций. Перспективным направлением является автоматизация контроля с применением машинного зрения и цифрового анализа изображений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анисович, А. Г. Структуры металлов и сплавов в технологических процессах машиностроения : монография / А. Г. Анисович, А. А. Андрушевич. - Минск : Беларуская навука, 2018. - 135 с. - ISBN 978-985-08-2363-2. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1067938 (дата обращения: 09.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

2. Стуканов, В. А. Материаловедение : учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по группе специальностей 1705 "Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта" / В. А. Стуканов ; В. А. Стуканов. – Москва : Форум, 2010. – 367 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-8199-0352-0. – EDN QNADUH.

3. Черепахин, А. А. Материаловедение : учебник для студентов учебных заведений среднего профессионального образования, осуществляющих подготовку специалистов по специальности Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей / А. А. Черепахин, В. С. Наталенко, К. В. Юферов. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2025. – 297 с. – ISBN 978-5-00261-162-1. – EDN TPSPGZ.

4. Давыдова, И. С. Материаловедение : учебное пособие / И.С. Давыдова, Е.Л. Максина. — 2-е изд. — Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2020. — 228 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-369-01222-2. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/1062389 (дата обращения: 09.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

УДК 621.793.6:669.5
Дмитриев Константин Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Dmitriev Konstantin Yuryevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Belova Inna Valerievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ТЕРМОДИФФУЗИОННОЕ ЦИНКОВАНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ИЗДЕЛИЙ

THERMODIFFUSION ZINC COATING AND ITS INFLUENCE ON THE CORROSION RESISTANCE OF METAL PRODUCTS

Аннотация. Работа посвящена изучению влияния термодиффузионного цинкования на стойкость стальных изделий к коррозионному разрушению. Представлена подробная методика нанесения цинкового покрытия, обоснован выбор температурно-временных режимов и описаны этапы подготовки поверхности. Проведено сравнительное тестирование обработанных и необработанных образцов в агрессивной солевой среде, а также выполнена визуальная и массометрическая оценка степени разрушения. Эксперимент подтверждает значительное повышение коррозионной устойчивости изделий, прошедших термодиффузионную обработку, что делает технологию перспективной для применения в условиях агрессивной эксплуатации.
Abstract. The study is devoted to investigating the effect of thermodiffusion zinc coating on the corrosion resistance of steel products. A detailed methodology for applying the zinc layer is presented, including the justification of temperature-time parameters and a description of surface preparation stages. A comparative test of treated and untreated samples was carried out in an aggressive salt environment, accompanied by visual inspection and mass loss evaluation to assess the degree of corrosion damage. The experiment confirms a significant improvement in corrosion resistance for specimens subjected to thermodiffusion treatment, highlighting the potential of this technology for use in harsh operating conditions.
Ключевые слова: термодиффузионное цинкование, коррозия, защитное покрытие, сталь, антикоррозионная защита.
Key words: thermodiffusion zinc coating, corrosion, protective layer, steel, anti-corrosion protection.

Коррозия металлических конструкций — одна из основных причин разрушения оборудования, снижения надёжности инженерных систем и значительных экономических потерь. Особенно это актуально для отраслей, где металл подвергается постоянному воздействию влаги, агрессивных солевых сред, промышленных газов и температурных перепадов. В условиях высокой влажности, морской атмосферы, воздействия кислотных или щелочных растворов металлические элементы без защиты разрушаются в течение нескольких лет или даже месяцев. На сегодняшний день существует ряд методов повышения коррозионной стойкости, среди которых особое место занимает цинкование — процесс нанесения на поверхность стали слоя цинка, выполняющего как барьерную, так и электрохимическую защитную функцию. Одним из наиболее эффективных вариантов цинкования является термодиффузионный способ, при котором атомы цинка внедряются в поверхностный слой стали при температуре 350–450 °C, формируя прочное соединение [1].

Целью данной работы является экспериментальное обоснование эффективности термодиффузионного цинкования, определение параметров, влияющих на качество покрытия, и оценка степени защиты, обеспечиваемой данным методом при эксплуатации в агрессивной среде.

В ходе выполнения исследования была проведена комплексная экспериментальная работа, направленная на оценку эффективности термодиффузионного цинкования. Основ-

ное внимание уделялось сравнению поведения стальных образцов, обработанных по данной технологии, и необработанных контрольных образцов, подвергавшихся воздействию агрессивной среды. Материалом для изготовления образцов послужила конструкционная углеродистая сталь, обладающая хорошей обрабатываемостью и распространённая в машиностроении. Заготовки имели форму цилиндров диаметром 10 мм и длиной 60 мм. В процессе подготовки к цинкованию использовалась стандартная методика очистки: обезжиривание в органическом растворителе, механическое удаление окислов и загрязнений абразивным способом, кислотное травление для активации поверхности. Эти операции обеспечили чистоту и высокую адгезионную способность основания.

Термодиффузионное цинкование выполнялось в герметичной реакционной камере с цинксодержащей порошковой смесью. Состав смеси включал 95% металлического порошка цинка, 2% активатора (хлорида аммония) и 3% кварцевого песка. Смесь позволяла равномерно распределять тепло, а активатор ускорял процесс взаимодействия цинка с поверхностью стали. Камера нагревалась до температуры 420 °C, выдержка при этой температуре составляла 3 часа. За это время происходило насыщение поверхностных слоёв стали атомами цинка, что приводило к формированию интерметаллических фаз — преимущественно $FeZn_{□□}$ и Fe_5Zn_{21}. Эти фазы обладают высокой плотностью, прочностью, стойкостью к коррозионным агентам и сохраняют свои свойства даже при значительных температурных и механических нагрузках [2].

После завершения процесса цинкования образцы охлаждали на воздухе. Контрольная и основная группы затем подвергались коррозионным испытаниям. Метод испытания предполагал полное погружение образцов в 5%-ный раствор хлорида натрия (NaCl) при температуре 25 °C на протяжении 72 часов. Такой раствор имитирует агрессивную морскую атмосферу и широко используется в лабораторной практике. Каждые 24 часа фиксировались изменения массы с точностью до 0,001 г, а также производился визуальный контроль поверхности: определялись признаки ржавления, появление пятен, потемнений, питтинговых и других форм коррозии.

Кроме того, проводился микроскопический анализ на увеличениях ×100 и ×400, что позволило оценить целостность защитного слоя и глубину возможных повреждений. Результаты показали, что необработанные образцы уже спустя 24 часа начали демонстрировать признаки активной коррозии. Через 72 часа они приобрели выраженный рыжий налёт, а также частично утратили массу за счёт разрушения поверхностного слоя. Потери массы достигли 2,1%.

В то же время обработанные образцы сохранили блестящую поверхность, не продемонстрировали видимых очагов поражения, а массовая потеря составила лишь 0,08% — в пределах допустимой погрешности для лабораторных измерений,результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты коррозионных испытаний

Группа образцов	Массовая потеря за 72 часа	Визуальные признаки коррозии
Без покрытия	2,1%	Ржавчина, потемнение, питтинг
С покрытием	0,08%	Без изменений

Микроскопия поверхности выявила значительные различия в структуре: у необработанных образцов наблюдались множественные очаги питтинговой коррозии, наличие межкристаллитных разрушений, рыхлая структура. На обработанных образцах сохранялась плотная, однородная структура с выраженными диффузионными слоями. Не было обнаружено микротрещин, отслоений и иных дефектов, способных привести к последующему разрушению при эксплуатации.

Применение термодиффузионного цинкования показало также технологические преимущества. В отличие от гальванического метода, здесь отсутствуют проблемы с равномерностью нанесения на сложные поверхности: резьбы, кромки, внутренние полости. Процесс проходит в твёрдой фазе, не требует жидких электролитов, не образует токсичных отходов, что делает его экологически безопасным.

Также технология обеспечивает высокую износостойкость покрытия и способность выдерживать механические воздействия, что особенно важно для изделий, работающих в условиях трения, вибраций и переменных нагрузок [3].

Таким образом, экспериментальная часть исследования подтвердила, что термодиффузионное цинкование не только эффективно снижает скорость коррозионных процессов, но и обладает рядом эксплуатационных и технологических преимуществ, что делает его одним из наиболее перспективных методов антикоррозионной защиты в современной промышленности. Результаты экспериментального исследования подтверждают высокую эффективность термодиффузионного цинкования в защите стальных изделий от коррозии. Формируемый в результате диффузионного взаимодействия слой интерметаллических фаз обеспечивает не только стойкость к воздействию агрессивных сред, но и прочное сцепление с основным металлом, устойчивость к механическим повреждениям и износу.

Полученные данные демонстрируют, что при правильном подборе режимов обработки можно добиться значительного увеличения срока службы изделий без значительного удорожания производственного процесса. В отличие от традиционных методов, таких как гальваническое и горячее цинкование, термодиффузионный способ позволяет обеспечить более равномерное покрытие сложных по геометрии поверхностей и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Таким образом, термодиффузионное цинкование является технологически и экономически целесообразным методом защиты стальных конструкций, особенно в тех сферах, где присутствуют повышенные требования к надёжности, долговечности и экологической безопасности. Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение поведения таких покрытий в условиях длительной эксплуатации, при циклических нагрузках, а также оценка их износостойкости и стойкости к температурным воздействиям.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Казаковская, Т. В. Коррозия металлических материалов : пособие по курсу «Коррозия специальных материалов» : учебное пособие / Т. В. Казаковская. – Саров : Федеральное государственное унитарное предприятие "Российский Федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики", 2024. – 79 с. – ISBN 978-5-9515-0576-7. – EDN BOGDRS.

2. Рябичева, Л. А. Коррозия и защита материалов : монография / Л. А. Рябичева, В. В. Засько. - Москва : Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 160 с. - ISBN 978-5-9729-1391-6. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2094421 (дата обращения: 09.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

3. Пахомов, В. С. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии : учебное пособие / В. С. Пахомов, А. А. Шевченко. - 2-е изд., доп. и расш. - Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2016. - 480 с. - ISBN 978-5-91884-076-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/1859949 (дата обращения: 09.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

УДК 62-799

Днепровский Никита Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Dneprovskiy Nikita Andreevich, student of Komsomolsk-na-Amure State University
Отряскина Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиностроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Otryaskina Tatyana Alexandrovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of Department, Komsomolsk-na-Amure State University

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ

OPTIMIZATION OF THE SYSTEM FOR DIAGNOSTICS AND REPAIR OF PUMPING EQUIPMENT AT AN OIL REFINERY

Аннотация. Центробежные насосы – незаменимый элемент практически всех промышленных отраслей, от нефтегазовой до пищевой. Их ключевая функция – перекачка жидкостей различной вязкости, обеспечивая бесперебойное функционирование технологических процессов. Эффективность и стабильность работы всей производственной цепочки напрямую зависят от надежности этих насосов. Однако, значительной проблемой в современном насосостроении является повышение надежности и долговечности оборудования. Повышение надежности этого оборудования – задача, требующая комплексного подхода. Небалансировка ротора, износ подшипников или неправильная установка насоса могут привести к повышенной вибрации, которая ускоряет износ всех элементов и может привести к разрушению насоса. Поэтому диагностика насоса позволяет отследить неполадки на ранних стадиях и вовремя отремонтировать насос, не доводя до полного разрушения основных его узлов.
Abstract. Centrifugal pumps are an indispensable element in almost all industrial sectors, from oil and gas to food. Their key function is to pump liquids of various viscosities, ensuring the smooth functioning of technological processes. The efficiency and stability of the entire production chain directly depend on the reliability of these pumps. However, a significant problem in modern pumping engineering is increasing the reliability and durability of equipment. Improving the reliability of this equipment is a task that requires an integrated approach. Failure to balance the rotor, bearing wear, or improper installation of the pump can lead to increased vibration, which accelerates the wear of all components and can lead to the destruction of the pump. Therefore, pump diagnostics allows you to track problems at an early stage and repair the pump in time without completely destroying its main components.
Ключевые слова: центробежный насос, подшипниковый узел, дефекты вибродиагностика.
Key words: centrifugal pump, bearing assembly, vibration diagnostics defects.

Центробежные насосы одно из основных оборудований нефтеперерабатыющего завода обеспечивающее непрерывность и эффективность технологического процесса переработки нефти. Их роль выходит далеко за рамки простого перекачивания жидкостей; они являются ключевым элементом, от исправной работы которого зависит функционирование всего технологического оборудования. От бесперебойной работы насавов напрямую зависит поддержание необходимых рабочиех параметров в ректификационых колонах, теплообменниках, реакторах, сепараторы и системы охлаждения. Любое отклонение от оптимального режима работы насоса, будь то снижение давления, изменение расхода или повышение температуры, немедленно отражается на работе всего оборудования, потенциально приводя к снижению качества продукции, выходу из строя дорогостоящего оборудования и даже к аварийным ситуациям [4]. Поэтому своевременное обнаружение и устранение неисправностей в центробежных насосах является важнейшей задачей для обеспечения безопасной и эффективной работы НПЗ. Для этого применяются разнообразные методы технологической диагностики

Рассмотрим основные неполадки центробежного насоса. В насосе есть три основных узла, которые чаще всего выходят из строя. Это подшипниковый узел, это рабочее колесо, и третье это уплотнение вала. По частоте отказов лидирует подшипники, на них же влияют дефекты рабочего колеса, реже всего выходит из строя при правильной эксплуатации торцевое уплотнение вала. Следовательно, прежде всего нужно контролировать работу подшипников. Самый оптимальный способ диагностики подшипников является вибродиагностика, так как основным разрушающим фактором для подшипника является вибрация и любой дефект подшипника и рабочего колеса приводи к возникновению вибрации [3]. Для проведения диагностики используются вибродатчики, которые крепятся к корпусу насоса в определенных точках. Сигнал с датчиков передается на виброанализатор, который обрабатывает данные и отображает их в виде спектров, графиков и других визуальных представлений. Анализ вибросигналов позволяет выявить характерные частоты, амплитуды и фазы вибраций, которые указывают на конкретный тип дефекта [1,2].

При работе подшипника возникают различные виды частотных вибраций, для охвата всего спектра частот больше подходит виброанализатор BALTECH VP-3470 (рисунок 1).

Этапы прогнозирования различных дефектов в подшипниках узлов с помощью виброанализатора хорошо прослеживаются на графике уровня пиковых (ПИК) и среднеквадратичных (СКЗ) значений частотной амплитуды во времени [6] (рисунок 2).



Рисунок 1 – Вибраанализатор BALTECH VP-3470

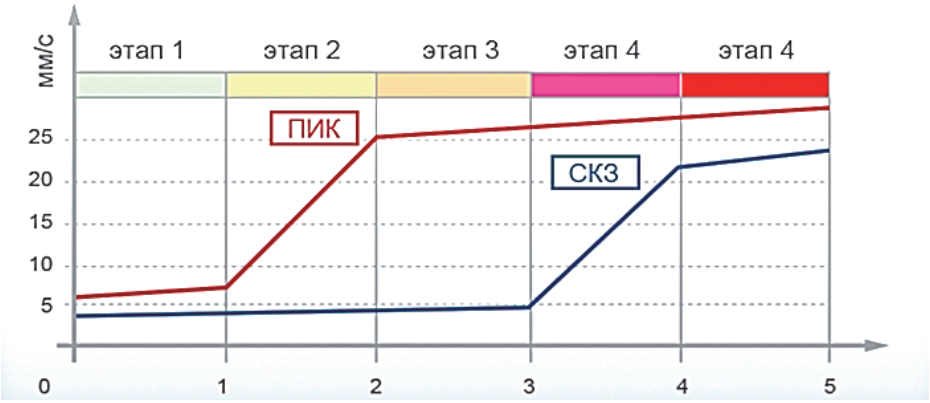


Рисунок 2 – График зависимости пиковых значений и СКЗ фона подшипника

Анализ вибрационного сигнала подшипника, представленный на графике, позволяет детально проследить его состояние и развитие дефектов на различных этапах. Разделим анализ на пять ключевых зон, отображающих динамику изменения вибрации. На первом участке графика (этап 1) подшипник в нормальном режиме работы. На втором участке (этап 2) начинается усиление вибрационного сигнала, что говорит о зарождении дефекта, но пока не очень влияющего на общие состояние подшипника, это демонстрирует общий уровень фона (кривая СКЗ). На этапах 3,4 дефект начинает интенсивно расти и увеличивается. В пятой зоне дефекты распределяются по всему подшипнику и делают его работу невозможной.

Вибродиагностика представляет собой эффективный инструмент для мониторинга состояния подшипников и прогнозирования их остаточного ресурса. Своевременное выявление и анализ изменений вибрационного сигнала позволяет предотвратить внезапные поломки и минимизировать затраты на ремонт, обеспечивая бесперебойную работу оборудования. Применение комплексного подхода, включающего в себя регулярный мониторинг, анализ частотного спектра и дополнительные методы диагностики, значительно повышает эффективность профилактического обслуживания и продлевает срок службы насосного оборудования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Методика построения системы диагностики сложной технической системы / Р. В. Допира, А. В. Щербинко, Д. Ю. Брежнев, Т. А. Щербинко // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 6, № 3. – С. 13-16. – EDN YNFODP.

2. Баркова, Н. А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования : учебное пособие / Н. А. Баркова ; Н. А. Баркова ; М-во образования Россий-

ской Федерации, Санкт-Петербургский гос. морской технический ун-т. – Санкт-Петербург : Изд. центр СПбГМТУ, 2003. – ISBN 5-88303-263-X. – EDN QMEZLV.

3. Кулак, С. М. Вибродиагностика : Учебное пособие / С. М. Кулак. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2019. – 84 с. – ISBN 978-5-9961-2003-1. – EDN FBVJAG.

4. Дебринов, Г. А. Обеспечение эксплуатационной надёжности роторного оборудования электростанции в условиях действующих правил энергорынков / Г. А. Дебринов // Энергетик. – 2018. – № 5. – С. 3-9. – EDN XORWJN.

5. Сударикова, Е. В. Неразрушающий контроль в производстве : учебное пособие / Е. В. Сударикова ; Е. В. Сударикова ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Санкт-Петербургский гос. ун-т аэрокосмического приборостроения. – Санкт-Петербург : ГУАП, 2007. – ISBN 5-8088-0232-6. – EDN QMFFZL.

6. Григорьев, М. Акустические методы контроля / М. Григорьев, А. Ремизов, А. Дерябин. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2017. – 56 с. – ISBN 978-5-7038-4653-7. – EDN ZCUXTP.

УДК 681

Драпиковский Антон Петрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Drapikovskiy Anton Petrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Кравченко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kravchenko Elena Genadyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОФИЛЬНОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ ПРИ КОНТРОЛЕ СТЕНОК АППАРАТОВ КОЛОННОГО ТИПА

NALYSIS OF THE RESULTS OF RADIOGRAPHIC PROFILE THICKNESS MEASUREMENT DURING THE INSPECTION OF THE WALLS OF COLUMN-TYPE APPARATUS

Аннотация. В представленной статье авторы приводят интерпретацию результатов контроля стенок аппаратов колонного типа методом радиографической профильной толщинометрии. Рассмотрены особенности интерпретации результатов, полученных данным методом контроля с учетом возможных погрешностей, связанных с геометрией объекта контроля и условиями экспонирования. Выявлены ограничения использования данного метода как со стороны контролирующей техники, так и со стороны объектов контроля.
Abstract. In the presented article, the authors interpret the results of testing the walls of column-type devices by radiographic profile thickness measurement. The features of interpretation of the results obtained by this method of control are considered, taking into account possible errors associated with the geometry of the tested object and exposure conditions. The limitations of the use of this method both on the part of the control equipment and on the part of the objects of control are revealed.
Ключевые слова: неразрушающий контроль, радиографический контроль, аппараты колонного типа, профильная толщинометрия, просвечивание.
Key words: non-destructive testing, radiographic testing, column-type devices, profile thickness measurement, X-ray.

Анализ [1,2] показал, что при измерении толщины стенок аппаратов колонного типа наиболее эффективным является радиографический метод контроля. Его эффективность обусловлена возможностью получения детального изображения внутренней структуры

объекта, что критически важно для выявления дефектов, таких как коррозия, трещины, расслоения и включения, невидимые при применении других методов. Радиографический метод позволяет оценить толщину стенок с высокой точностью и выявлять дефекты на ранних стадиях их развития, что существенно повышает безопасность эксплуатации аппаратов колонного типа и предотвращает потенциально опасные аварийные ситуации. Однако в ряде случаев интерпретация результатов контроля стенок аппаратов колонного типа методом радиографической профильной толщинометрии требует учитывать целый ряд факторов, оказывающих влияние на их точность и достоверность. В этой связи актуальной стоит задача определить оптимальные условия для контроля с учетом технических характеристик оборудования и особенностей геометрии контролируемых объектов.

Метод рентгенографического контроля труб основан на фундаментальном свойстве проникающего излучения – способности проходить сквозь материалы, непрозрачные для видимого света, включая металлы. Ионизирующее излучение, в данном случае гамма-лучи, воздействует на рентгеновскую пленку, вызывая её почернение. Интенсивность почернения зависит от количества излучения, достигшего пленки. Принцип работы заключается в следующем: гамма-лучи проходят через стенку трубы, и их путь через металл в точке, расположенной между внешним и внутренним радиусами трубы, в четыре раза превышает толщину самой стенки. Это объясняется геометрией прохождения лучей, которые проходят через больший объем металла в центральной части трубы, чем у краёв. Значительная часть гамма-излучения поглощается металлом трубы. В результате на рентгеновской пленке образуется область с меньшей интенсивностью почернения, представляющая собой более светлый участок на общем темном фоне. Этот светлый участок на снимке – проекция стенки трубы, причем её площадь на снимке несколько увеличена из-за геометрических искажений, связанных с углом падения лучей. Однако, идеальная, однородная структура стенки трубы – это редкость. Наличие дефектов, таких как пустоты (поры, раковины), трещины, или включения других материалов, существенно изменяет поглощение гамма-излучения. В местах расположения дефектов металл становится менее плотным, и большее количество гамма-лучей проходит сквозь него, достигая рентгеновской пленки. Это приводит к появлению на пленке более темных участков, контрастирующих со светлой проекцией стенки. Эти темные участки имеют характерную форму, отражающую форму и размер дефекта. Например, небольшие, изолированные пустоты изображаются как темные пятна (раковины, язвы), а протяженные дефекты, такие как трещины или протяженные поры, представляются на снимке как темные полосы. Анализ формы и размера этих темных областей позволяет определить тип, размер и местоположение дефектов в теле трубопровода, обеспечивая оценку его целостности и пригодности к эксплуатации. Однако радиографический метод имеет свои ограничения, связанные как с техническими характеристиками оборудования, так и с особенностями контролируемых объектов. Результаты многочисленных испытаний [3] показали, что оптимальные условия для контроля толщины стенок труб с использованием рентгеновского излучения достигаются при диаметре условного прохода менее 110 мм и толщине стенки менее 6 мм (рисунок 1). При использовании источника гамма-излучения (например, иридий-192), эти параметры расширяются до диаметра менее 220 мм и толщины стенки до 10 мм. В обоих случаях важным условием является однородность среды внутри трубы, состоящей из низкокипящих компонентов или газов. Толщина изоляции также играет существенную роль и не должна превышать 100 мм. Превышение этих параметров может привести к искажению результатов измерений или сделать их вовсе невозможными. В качестве примера рассмотрим результаты анализа профилометрии образцов [3]. На образце №1 (рисунок 1) выявлено локальное утонение в околошовной зоне галтерной врезки трубопровода диаметром 57 мм в трубопровод диаметром 159 мм. При исполнительной толщине стенки 5 мм трубы диаметром 57 мм остаточная толщина равна 1,25 мм. При анализе снимка с образцом №2 (рисунок 2) обнаружен аналогичный локальный дефект в виде утонения. Остаточная толщина стенки трубы равна 1,7 мм при исполнительной толщине 5 мм. Дополнительно выявлено нарушение норм стыковки трубопроводов диаметром 159 мм и 57 мм при выполнении галтерной врезки, а также дефекты шва приварки перехода 159/89 мм к трубе диаметром 159 мм.

На рисунке 3 показан трубопровод диаметром 159 мм; стрелкой 1 указан участок локального коррозионного износа, при этом дефект является наружным, скрытым под изоляцией. Наименьшая расчетная толщина на дефектном участке – 4,3 мм при исполнительной толщине 8 мм. Показанный на рисунке 4 участок трубопровода имеет две зоны локального утонения 1 и 2. При исполнительной толщине трубопровода 8 мм наименьшая расчетная толщина равна 4 мм. Светлая точка в центре сварного шва – это саморез, применяющийся при установке изоляционного покрытия на трубопроводе.

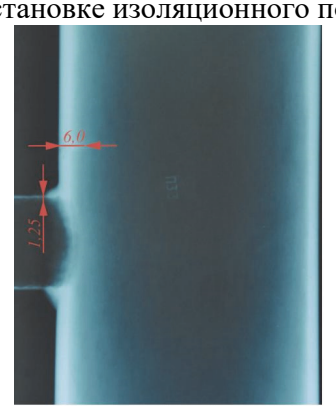


Рисунок 1 – Результат профилометрии образца №1

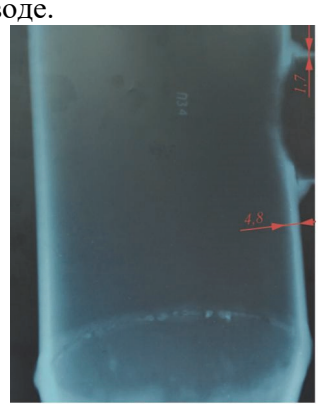


Рисунок 2 – Результат профилометрии образца №2

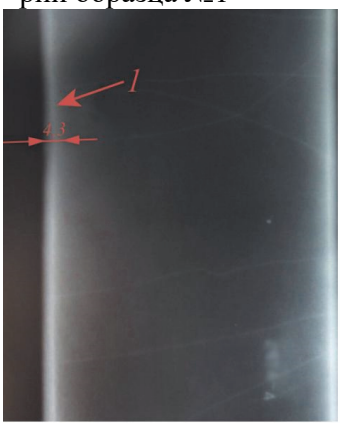


Рисунок 3 – Результат профилометрии образца №3

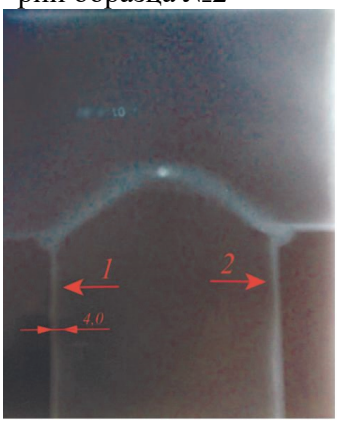


Рисунок 4 – Результат профилометрии образца №4

Таким образом, при интерпретации результатов рентгенографической профильной толщинометрии необходимо учитывать возможные погрешности, связанные с геометрией объекта контроля и условиями экспонирования, а также технических характеристик оборудования. Важно также обращать внимание на наличие нехарактерных дефектов, таких как неоднородность среды внутри трубы и толщина изоляции, которые могут искажать результаты измерений толщины. Таким образом, рентгенография позволяет выявить скрытые дефекты, которые невозможно обнаружить визуальным осмотром. Важно отметить, что полученное изображение является проекцией, поэтому для точной оценки глубины и пространственной ориентации дефекта может потребоваться дополнительная обработка данных или использование параллельных методов неразрушающего контроля.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов = Non-destructive testing. Classification of types and method : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2019 г. №1073-ст : введен взамен ГОСТ Р 56542-2015 : дата введения : 2020-11-01 / подготовлен Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений». – Москва: Стандартинформ, 2019. – V, 12 с. : 29 см. – Текст : непосредственный.

2. Методы контроля качества в машиностроении: Учебное пособие для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образо-вания по направлению подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машино-строительных производств" / Е. Г. Кравченко, Б. Я. Мокрицкий, А. С. Верещагина, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2017. – 132 с. – ISBN 978-5-94178-549-0. – EDN XEMJIX.

3. Рабаев, М. У. Применение гаммаграфического метода контроля для замера толщин стенок трубопроводов под изоляцией, не выведенных из эксплуатации / М. У. Рабаев // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. – 2016. – № 1(7). – С. 62-64. – EDN VVIRGB.

УДК 681

Драпиковский Антон Петрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Drapikovskiy Anton Petrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кравченко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravchenko Elena Genadyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

ANALYSIS OF REFINERY PROCESS PIPELINE DIAGNOSTIC SYSTEMS

Аннотация. В представленной статье рассматриваются современные методы и технологии, которые направлены на усовершенствование системы диагностики технологических трубопроводов нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Проведен анализ основных проблем, которые связаны с работой трубопроводов, включая эрозию, коррозию, механические повреждения и различные утечки. Рассмотрены лучшие методы неразрушающего контроля (ультразвуковая дефектоскопия, радиографический контроль, вихретоковый контроль, методы мониторинга технического состояния трубопроводов в режиме реального времени). Особое внимание в статье уделяется внедрению цифровых технологий и автоматизированных систем для повышения эффективности и точности диагностики.

Abstract. The presented article discusses modern methods and technologies that are aimed at improving the diagnostic system of technological pipelines of oil refineries. The analysis of the main problems related to the operation of pipelines, including erosion, corrosion, mechanical damage and various leaks, is carried out. The best methods of non-destructive testing (ultrasonic flaw detection, radiographic control, eddy current control, methods of monitoring the technical condition of pipelines in real time) are considered. The article pays special attention to the introduction of digital technologies and automated systems to improve the efficiency and accuracy of diagnostics.

Ключевые слова: технологические трубопроводы, диагностика, неразрушающий контроль, мониторинг, коррозия, нефтеперерабатывающий завод, автоматизация, ультразвук, радиография, вихревые токи.

Key words: technological pipelines, diagnostics, non-destructive testing, monitoring, corrosion, oil refinery, automation, ultrasound, radiography, eddy currents.

Технологические трубопроводы являются неотъемлемой частью инфраструктуры нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ), так как они обеспечивают транспортировку сырья, промежуточных продуктов и готовой продукции между различными технологическими установками. Безопасность, а также эффективность при работе трубопроводов имеет главное значение для непрерывности рассматриваемого производства, предотвращения аварий, а также минимизации экологического ущерба.При очень длительной эксплуатации трубопроводы подвергаются воздействию агрессивных сред, высоких температур и давле-

ний, что приводит к возникновению различных дефектов, таких как коррозия, эрозия, трещины и утонения стенок. Своевременная и эффективная диагностика позволяет выявлять эти дефекты на начальных этапах, предотвращая аварийные ситуации и обеспечивая плановую замену или ремонт поврежденных участков.

Целью данной статьи является обзор современных методов, технологий, которые направлены на совершенствование системы диагностики технологических трубопроводов НПЗ, увеличение ее эффективности, точности, надежности.

Эксплуатация технологических трубопроводов на НПЗ сопряжена с различными проблемами, основными из которых можно считать [3]:

1 **коррозия.** Под воздействием агрессивных химических веществ, таких как сероводород, хлориды и органические кислоты, происходит разрушение металла трубопроводов. Различают различные виды коррозии, включая общую, питтинговую, щелевую и коррозионное растрескивание под напряжением;

2 **эрозия.** Абразивное воздействие твердых частиц, содержащихся в транспортируемых средах, приводит к износу внутренней поверхности трубопроводов, особенно в местах поворотов и сужений;

3 **механические повреждения.** Трубопроводы повреждаются в результате различных внешних воздействий (удары, вибрации, нагрузки от оборудования);

4 утечки возникают в результате коррозии или же эрозии, механических повреждений, дефектов сварных соединений. Утечки могут привести к серьезным потерям нефтепродукта, тем самым загрязнения окружающую среду и к возникновению пожаров;

5 **различные отложения.** На внутренней поверхности трубопроводов могут отлагаться различные вещества (парафин, смолы и асфальтены), что приводит к уменьшению пропускной способности, а также ухудшает теплообмен.

Для диагностики технологических трубопроводов применяются различные методы неразрушающего контроля (NDT), позволяющие выявлять дефекты без нарушения целостности конструкции. Наиболее качественными методами можно считать [1,2]:

1 **ультразвуковая дефектоскопия (UT)** основана на применении ультразвуковых волн для выявления внутренних дефектов (трещины, поры и расслоения). Ультразвук позволяет определять размеры и местоположение дефектов с максимальной точностью;

2 **радиографический контроль (RT)** основан на просвечивании трубопровода рентгеновским или гамма-излучением. Данный контроль позволяет выявлять внутренние дефекты, такие как трещины, поры, шлаковые включения и коррозию;

3 **вихретоковый контроль (ET)** основан на использовании электромагнитных полей для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов (трещины, царапины и коррозия). Контроль более эффективен для контроля сварных соединений и труб из цветных металлов;

4 **магнитопорошковый контроль (MT)** основывается на создании магнитного поля в трубопроводе и выявлении дефектов с помощью магнитных частиц. Метод позволяет выявлять поверхностные и подповерхностные дефекты, такие как трещины и царапины;

5 **визуальный и измерительный контроль (VT)** заключается в визуальном осмотре поверхности трубопровода с использованием оптических приборов и измерительных инструментов. Метод позволяет выявить поверхностные дефекты (коррозия, трещины, деформации, повреждения изоляции).

В последние годы все большее распространение получают системы мониторинга технического состояния трубопроводов в режиме реального времени (RTMS). Эти системы позволяют нефтеперерабатывающим производствам непрерывно контролировать различные параметры трубопроводов, такие как:

– **толщина стенки.** Измеряется толщина стенки трубопровода, что позволяет выявлять участки с повышенной коррозией или эрозией;

– **давление и температура.** Датчики давления и температуры позволяют контролировать параметры транспортируемой среды и выявлять аномальные режимы работы трубопровода;

– **вибрация.** Датчики вибрации позволяют выявлять механические повреждения и дефекты опорных конструкций трубопровода;

– **утечки.** Датчики утечек позволяют обнаруживать утечки продукта на ранних стади предотвращению аварийной ситуации.

Внедрение цифровых технологий и автоматизированных систем играет важную роль в совершенствовании системы диагностики технологических трубопроводов НПЗ. К таким технологиям относятся:

– **применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).** БПЛА, оснащенные камерами высокого разрешения и тепловизорами, позволяют проводить визуальный осмотр трубопроводов, расположенных в труднодоступных местах, а также могут выявлять дефекты изоляции, коррозию и утечки;

– **использование** роботов, оснащенных датчиками NDT, могут использоваться для обследования внутренней поверхности трубопроводов, а также для выявления дефектов (трещины, коррозия);

– **алгоритмы искусственного интеллекта** могут применяться для анализа данных, которые получают с датчиков NDT, RTMS, а также прогнозировать возникновение дефектов;

– использование **цифровых двойников** трубопроводов позволяет моделировать различные ситуации, которые могут возникнуть при эксплуатации, а также спрогнозировать их техническое состояние.

Эффективное применение вышеперечисленных методов позволяет предотвращать аварии, способствовать снижению потерь, которые связаны с остановкой производства, ремонтом оборудования и предоставлений компенсаций.

– **сокращение затрат на техническое обслуживание и ремонт.** Плановая замена или ремонт поврежденных участков трубопроводов позволяет избежать дорогостоящих аварийных ремонтов.

– **увеличение срока службы трубопроводов.** Раннее выявление, устранение дефектов позволяет увеличить срок службы трубопроводов и снизить затраты на их замену.

– **повышение безопасности и надежности работы НПЗ.** Снижение риска аварий и утечек повышает безопасность персонала и населения, а также обеспечивает надежную работу НПЗ.

– **сокращение экологического ущерба.** Предотвращение утечек продукта позволяет минимизировать загрязнение окружающей среды.

Результаты анализа критериев выбора неразрушающего метода контроля приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов диагностики технологических трубопроводов НПЗ

Метод диагностики	Применение	Преимущества	Недостатки
Ультразвуковая дефектоскопия (UT)	Выявление внутренних дефектов (трещины, поры, расслоения)	Высокая точность, а также возможность определения размеров и местоположения дефектов	Потребуется подготовка поверхности, сложность контроля сварных соединений
Радиографический контроль (RT)	Выявление внутренних дефектов (трещины, поры, шлаковые включения, коррозия)	Повышенная чувствительность к дефектам, возможность контроля сварных соединений	Опасность радиационного облучения, необходимость остановки производства
Вихретоковый контроль (ET)	Выявление поверхностных и подповерхностных дефектов (трещины, царапины, коррозия)	Большая скорость контроля, возможность автоматизации	Ограниченная глубина проникновения, влияние электропроводности материала
Магнитопорошковый контроль (MT)	Выявление поверхностных и подповерхностных дефектов (трещины, царапины)	Простота применения, высокая чувствительность к дефектам	Ограниченное применение для труб из немагнитных материалов, потребуется очистка поверхности

Продолжение таблицы 1

Метод диагностики	Применение	Преимущества	Недостатки
Визуальный и измерительный контроль (VT)	Выявление поверхностных дефектов (трещины, коррозия, деформации, повреждения изоляции)	Простота и доступность, не требует специального оборудования	Зависимость от квалификации специалиста, ограниченные возможности выявления внутренних дефектов
Мониторинг в режиме реального времени (RTMS)	Непрерывный контроль толщины стенки, давления, температуры, вибрации, утечек	Оперативное выявление аномальных режимов работы трубопровода, возможность прогнозирования возникновения дефектов	Требует установки датчиков и сложного программного обеспечения, высокая стоимость

Совершенствование системы диагностики технологических трубопроводов НПЗ является важной задачей, направленной на повышение безопасности, надежности и эффективности работы предприятий. Внедрение современных методов неразрушающего контроля, систем мониторинга в режиме реального времени и цифровых технологий позволяет своевременно выявлять дефекты, предотвращать аварии и минимизировать экологический ущерб. Экономический эффект от использования современных систем диагностики может быть существенным, что делает их внедрение оправданным с точки зрения инвестиций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Котенкова, Д. А. Анализ дефектов труб при эксплуатации нефтегазопроводов / Д. А. Котенкова, Л. Х. Бреслер // Актуальные проблемы науки и техники : Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Уфа, 04 мая 2021 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2021. – С. 45-50. – EDN LWUPCA.

2. ГОСТ Р 56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов = Non-destructive testing. Classification of types and method : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2019 г. №1073-ст : введен взамен ГОСТ Р 56542-2015 : дата введения : 2020-11-01 / подготовлен Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений». – Москва: Стандартинформ, 2019. – V, 12 с. : 29 см. – Текст : непосредственный.

3. Методы контроля качества в машиностроении: Учебное пособие для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образо-вания по направлению подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машино-строительных производств" / Е. Г. Кравченко, Б. Я. Мокрицкий, А. С. Верещагина, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2017. – 132 с. – ISBN 978-5-94178-549-0. – EDN XEMJIX.

УДК 620.179.152:004.91

Драпиковский Антон Петрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Drapikovskiy Anton Petrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кравченко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravchenko Elena Genadyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

МЕТОДИКА РАДИОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОФИЛЬНОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ ПРИ КОНТРОЛЕ СТЕНОК АППАРАТОВ КОЛОННОГО ТИПА

METHOD OF RADIOGRAPHIC PROFILE THICKNESS MEASUREMENT IN THE CONTROL OF THE WALLS OF COLUMN-TYPE APPARATUS

Аннотация. В представленной статье авторы предлагают разработанную методику проведения радиографической профильной толщинометрии при контроле стенок аппаратов колонного типа. Рассмотрены особенности интерпретации результатов, полученных данным методом контроля с учетом возможных погрешностей, связанных с геометрией объекта контроля и условиями экспонирования.
Abstract. In the presented article, the authors propose a developed method for conducting radiographic profile thickness measurement when testing the walls of column-type devices. The features of interpretation of the results obtained by this method of control are considered, taking into account possible errors associated with the geometry of the tested object and exposure conditions.
Ключевые слова: неразрушающий контроль, радиографический контроль, аппараты колонного типа, профильная толщинометрия, просвечивание.
Key words: non-destructive testing, radiographic testing, column-type devices, profile thickness measurement, X-ray.

В современном мире метрологическое обеспечение контроля толщины стенок аппаратов колонного типа является ключевым аспектом в области промышленной безопасности и эффективности. Стабильное функционирование аппаратов, используемых в химической, нефтегазовой и других отраслях, напрямую зависит от точности и надежности контроля и измерения толщины стенок, поскольку недостаточная толщина стенок может привести к авариям, утечкам и серьезным последствиям для окружающей среды и человеческого здоровья. Для контроля толщины стенки изделий из листовых материалов в основном применяют методы акустического и вихретокового видов неразрушающего контроля, радиационные методы, и, в ряде случаев, методы магнитного вида НК. Анализ [1,2] показал, что наиболее эффективным является радиографический метод контроля при измерении толщины стенок аппаратов колонного типа. Метод позволяет своевременно выявлять критические утонения стенок и предотвращать аварии, связанные с потерей прочности.

Возможность применения радиографии основана на особенности изменения толщины материала L в направлении просвечивания в функции расстояния h по радиусу. Эта особенность состоит в том, что на координате, соответствующей толщине стенки S, функция L имеет острую точку излома и максимальна.

$$\mathcal{L}_{max} = 2\sqrt{S(D\text{н} - S)},$$

где $Dн$ – наружный диаметр, м.

Такое резкое изменение толщины материала в направлении просвечивания фиксируется на радиографическом снимке в виде значительного изменения плотности почернения.

Схема просвечивания при профильной радиографической толщинометрии, в отличие от схем просвечивания при радиографической дефектоскопии, состоит в том, что источник излучения (гамма-дефектоскоп, рентгеновский аппарат) и прямая плоская кассета с пленкой должны располагаться относительно контролируемого объекта таким образом, чтобы центральный луч рабочего пучка излучения был направлен перпендикулярно профилю стенки на контролируемом участке (приблизительно по касательной к наружной поверхности). После экспонирования пленки с последующей ее фотообработкой на снимке получают увеличенное изображение профиля трубопровода S хорошо различимую на снимке светлую полосу с изменяющейся оптической плотностью почернения от максимума на границе профиля стенки со стороны наружной поверхности до минимума, которой соответствует границе внутренней поверхности трубы. Эта светлая полоска четко оттенена на снимке с обеих сторон областями со значительными плотностями почернения.

Далее со снимка с помощью измерительной лупы, микрофотометра или денситометра измеряют увеличенное изображение толщины стенки трубы *S* и вычисляют затем реальную толщину стенки *S*.

Реальная толщина стенки *S* трубопровода определяется из соотношения, м:

$$S = \left(S' - N\right) \cdot \frac{f - a}{f},$$

где *f* – фокусное расстояние от источника излучения до пленки, м;

a – расстояние от плоскости измерения толщины на аппарате до кассеты с пленкой, м;

N – поправка на увеличение на снимке изображения толщины стенки за счет нерезкости.

На рисунке 1 показано характерное распределение на снимке оптической плотности почернения в направлении по радиусу при использовании микрофотометра. Пунктирной линией представлено увеличенное изображение профиля стенки трубы, если бы не было эффекта нерезкости.

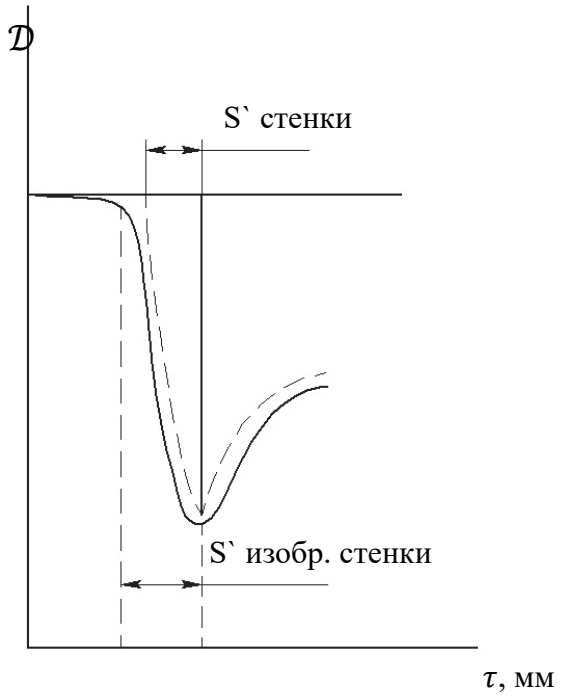


Рисунок 1 – Изменение на снимке оптической плотности *D* и зависимость изменения толщины материала в направлении просвечивания материала фактора нерезкости от расстояния по радиусу

Общая нерезкость *N* определяется совокупностью действий ее составляющих, связанных выражением

$$N = N_r^3 + N_з^3 + N_m^3,$$

где *N*r – геометрическая нерезкость, вызванная конечными размерами источника излучения.

$$N_r = \frac{Ф - a}{f - a},$$

где Ф – размер фокуса источника излучения (таблица 1);

Nв – внутренняя (собственная) нерезкость пленки в результате рассеяния электронов в эмульсионном слое в зависимости от энергии излучения (таблица 2);

Nm – нерезкость изображения профиля стенки трубы, возникающая в случае вибрации трубопровода.

Абсолютная погрешность Δ*S* найденной толщины *S* вычисляется по формуле

$$\Delta S = S\left(\frac{\Delta S` + \Delta N}{S` - N} + \frac{\Delta f + \Delta a}{f - a} + \frac{\Delta f}{f}\right),$$

где $\Delta S`$ – абсолютная погрешность измеренной на снимке толщины стенки, определяемая точностью (ценой деления) мерительного инструмента (измерительной лупы, микрофотометра);

ΔN – абсолютная погрешность нерезкости снимка, составляет 5-10 % от табличного значения N;

Δf и Δa – абсолютные погрешности при измерении расстояний f и a.

На практике, если фокусное расстояние *f* измерено с точностью не более ±10 мм, расстояние *a* с точностью не более ±5 мм, величина *S`* с точностью ±0,1 мм, а нерезкость *N* выбрана для применяемого источника излучения, то абсолютная погрешность в измерении толщины *S* составляет менее 5 % от измеряемого значения и не более 0,3 мм, т.е. $\Delta S \leq 5\ \% S$.

При более точных измерениях *f*, *a*, *S`* ошибка в измерении толщины стенки трубопровода еще меньше.

Таблица 1 – Основные характеристики радиоактивных источников излучения

Изотоп, ГОСТ, МРУ	Тип источника	МЭД гамма-излучения по расстоянии 1 м			Размеры активной части источника, мм	
		А/кг	Р/с	г-экв. Ra	Диаметр (фокус)	Высота
Тулий-170	ТУ-3	$3{,}1\cdot10^{-8}$	$1{,}2\cdot10^{-4}$	0,515	9,0	6,5
Иридий-192	ГИИ-Д-1	$3{,}9\cdot10^{-6}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$	0,644	0,5±0,05	0,5±0,05
	ГИИ-Д-2	$12{,}9\cdot10^{-8}$	$5{,}0\cdot10^{-4}$	2,146	1,0±0,12	1,0±0,12
	ГИИ-Д-3	$3{,}87\cdot10^{-7}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	6,438	1,6±0,12	1,6±0,12
	ГИИ-Д-4	$6{,}45\cdot10^{-7}$	$2{,}5\cdot10^{-3}$	10,73	2,0±0,12	2,0±0,12
	ГИИ-Д-5	$1{,}29\cdot10^{-8}$	$5{,}0\cdot10^{-3}$	21,46	3,0±0,12	3,0±0,12
	ГИИ-Д-6	$3{,}87\cdot10^{-6}$	$1{,}5\cdot10^{-2}$	64,38	4,0±0,15	4,0±0,15
	ГИИ-Д-7	$6{,}45\cdot10^{-8}$	$2{,}5\cdot10^{-2}$	107,3	6,0±0,15	6,0±0,15
Цезий-137	ГИИ-Д-1	$3{,}1\cdot10^{-8}$	$1{,}2\cdot10^{-4}$	0,515	3,5	3,5
	ГИИ-Д-2	$1{,}29\cdot10^{-7}$	$5{,}0\cdot10^{-4}$	2,146	6,0	6,0
	ГИИ-Д-3	$3{,}1\cdot10^{-7}$	$1{,}2\cdot10^{-3}$	5,150	6,5	6,5
	ГИИ-Д-4	$1{,}29\cdot10^{-6}$	$5{,}0\cdot10^{-3}$	21,46	10,5	11,0
	ГИИ-Д-5	$6{,}48\cdot10^{-6}$	$2{,}5\cdot10^{-2}$	107,3	18,5	17,0
	ГИИ-Д-6	$1{,}29\cdot10^{-5}$	$5{,}0\cdot10^{-2}$	214,6	23,5	23,0
Кобальт-60	ГИИ-Д-1	$1{,}5\cdot10^{-7}$	$5{,}8\cdot10^{-4}$	2,490	2,5	2,5
	ГИИ-Д-2	$3{,}1\cdot10^{-6}$	$1{,}2\cdot10^{-2}$	51,504	4,5	4,5
	ГИИ-Д-3	$1{,}3\cdot10^{-5}$	$5{,}0\cdot10^{-2}$	214,6	8,0	10,0
	ГИИ-Д-4	$3{,}1\cdot10^{-5}$	$1{,}2\cdot10^{-1}$	515,04	8,0	10,0
	ГИИ-Д-5	$1{,}3\cdot10^{-4}$	$5{,}0\cdot10^{-1}$	2146	21,0	16,0
	ГИИ-Д-6	$51{,}6\cdot10^{-2}$	2,0	8584	21,0	25,0

Таблица 2 – Зависимость внутренней (собственной) нерезкости мелкозернистой пленки от источников излучения

Источник излучения	Внутренняя нерезкость, мм	
	Пленка без экрана	Пленка с металлическом экраном
Тулий-170	0,01	0,02
Иридий-192	0,12	0,20
Цезий-137	0,14	0,30
Кобальт-60	0,19	0,40

Для обеспечения высокой точности определения толщины стенки необходимо стремиться к выполнению следующих условий [3]:

– фокусное расстояние должно быть максимально возможным, а фокус источника излучения должен быть как можно меньше.

Однако следует учитывать, что пропорционально квадрату фокусного расстояния увеличивается время экспозиции:

– кассету с пленкой располагать по возможности ближе к просвечиваемому профилю трубы и по нормали к центральному лучу источника излучения;

– измерение величин *S`, f,* а проводить с максимально возможной точностью;

– в связи с влиянием вибрации на нерезкость снимка и точность измерений, толщинометрию проводить при отсутствии вибрации.

Таким образом, точность радиографической профильной толщинометрии зависит от ряда факторов, включая качество рентгеновского изображения, точность калибровки оборудования и квалификацию персонала, проводящего измерения. Для повышения точности рекомендуется использовать рентгеновские аппараты с высоким разрешением и проводить многократные измерения в каждой точке. При интерпретации результатов необходимо учитывать возможные погрешности, связанные с геометрией объекта контроля и условиями экспонирования. Важно также обращать внимание на наличие нехарактерных дефектов, которые могут искажать результаты измерений толщины.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов = Non-destructive testing. Classification of types and method : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2019 г. №1073-ст : введен взамен ГОСТ Р 56542-2015 : дата введения : 2020-11-01 / подготовлен Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений». – Москва: Стандартинформ, 2019. – V, 12 с. : 29 см. – Текст : непосредственный.

2. Методы контроля качества в машиностроении: Учебное пособие для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образо-вания по направлению подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машино-строительных производств" / Е. Г. Кравченко, Б. Я. Мокрицкий, А. С. Верещагина, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2017. – 132 с. – ISBN 978-5-94178-549-0. – EDN XEMJIX.

3. Мартынов, В. В. Организация и обеспечение метрологического обслуживания средств измерений на производстве / В. В. Мартынов // EurasiaScience : Сборник статей LIX международной научно-практической конференции, Москва, 15 февраля 2024 года. – Москва: ООО АКТУАЛЬНОСТЬ.РФ, 2024. – С. 111-112. – EDN WLDYLO.

УДК 62-799

Забейворота Илья Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zabeyvorota Ilya Alexandrovich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Отряскина Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Otryaskina Tatyana Aleksandrovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ПРОЕКТ КОЛОННЫ ДЕБУТАНИЗАЦИИ ГАЗОФРАКЦИОНИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ООО «ГАЗПРОМ ПЕРЕРАБОТКА БЛАГОВЕЩЕНСК»

THE PROJECT OF THE COLUMN OF DEBUTANIZATION OF THE GAS FRACTIONATING UNIT OF GAZPROM PERERABOTKA BLAGOVESHCHENSK LLC

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы проектирования колонны дебутанизации, предназначенной для установки газофракционирования ООО «Газпром переработка Благовещенск». Работе рассмотрены технологических и конструктивных решений для колонны дебутанизации, обеспечивающих оптимальные параметры процесса разделения бутана от фракции С4+. Проведен анализ различных конструкций контактных устройств (тарелок) и

выбран наиболее подходящей для конкретных условий производства. Также рассмотрены вопросы выбора конструкционных материалов и расчета основных элементов колонны на прочность.
Abstract. The article discusses the issues of designing a debutanization column designed for the gas fractionation plant of Gazprom Pererabotka Blagoveshchensk LLC. The paper considers technological and constructive solutions for the debutanization column, providing optimal parameters for the separation of butane from the C4+ fraction. The analysis of various designs of contact devices (plates) was carried out and the most suitable one was selected for specific production conditions. The issues of choosing structural materials and calculating the main elements of the column for strength are also considered.Ключевые слова: колонна дебутанизации, газофракционирование, газопереработка, клапанная тарелка, оптимизация.
Ключевые слова: колонна дебутанизации, газофракционирование, газопереработка, клапанная тарелка, оптимизация.
Keywords: debutanization column, gas fractionation, gas processing, valve plate.

В настоящее время газопереработка является одной из важнейших отраслей нефтегазовой промышленности. Газофракционирующие установки (ГФУ) участвуют в процессе переработки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ), обеспечивая разделение сырья на отдельные товарные фракции, такие как пропан, бутан, изобутан и пентан. Эффективность работы ГФУ напрямую влияет на качество конечного продукта, а также экономическую целесообразность всего процесса переработки продукта. Разработку и оптимизацию технологических схем, оборудования для ГФУ можно считать актуальной задачей. Колонны дебутанизации, предназначенные для извлечения бутана из ШФЛУ являются важными для обеспечения требуемого качества продукции.

Процесс дебутанизации основан на принципе ректификации, при котором жидкая смесь разделяется на компоненты с разными температурами кипения. Исходные ШФЛУ подаются в дебутанизационную колонну, где восходящий поток паров контактирует с нисходящим потоком жидкости (флегмы).

Бутан, имеющий более низкую температуру кипения, концентрируется в верхней части колонны и выводится в качестве целевого продукта, в то время как тяжелые компоненты (пентан и высшие углеводороды) остаются в нижней части колонны и выводятся в виде кубового остатка. Важнейшим этапом проектирования является выбор оптимального типа контактных устройств.

В настоящее время существует огромное разнообразие тарелок и насадок, которые различаются по эффективности, гидравлическому сопротивлению и другим параметрам [1].

Технологический расчет колонны дебутанизации включает следующие этапы:

-этап определения физико-химических свойств сырья. Необходимо определить состав сырья (ШФЛУ), а также рассчитать его основные физико-химические свойства, такие как молекулярная масса, плотность, вязкость и теплоемкость. Для расчета свойств могут быть использованы различные корреляции и уравнения состояния;

-этап определения материального баланса. Рассчитываются расходы сырья, дистиллята и кубового остатка на основании заданных требований к составу продуктов. При этом необходимо учитывать компонентный состав потоков и степень извлечения целевого компонента (бутана);

-этап определения температурного режима. Рассчитывается распределение температур по высоте колонны. Для этого необходимо определить температуры кипения компонентов сырья при рабочем давлении в колонне, а также температурные границы процесса разделения;

-этап гидравлического расчета. Определяются диаметр колонны, высота колонны и гидравлическое сопротивление контактных устройств. При этом необходимо учитывать скорость паров и жидкости, а также параметры тарелок для обеспечения эффективного контакта между фазами;

-этап расчета теплового баланса. Рассчитываются тепловые нагрузки на ребойлер и конденсатор, а также расход тепла на нагрев и испарение сырья;

-этап оптимизации параметров процесса. На основании результатов технологического расчета проводится оптимизация параметров процесса, таких как флегмовое число и число тарелок, для достижения минимальных энергозатрат и максимальной эффективности разделения [2].

Конструкция колонны дебутанизации должна обеспечивать прочность, устойчивость и надежность работы оборудования. Важным этапом является выбор конструкционных материалов, обладающих высокой коррозионной стойкостью и механической прочностью. В качестве материала для корпуса колонны будет рассмотрена углеродистая сталь марки 09Г2С (таблица 1), обладающая хорошей свариваемостью и устойчивостью к низким температурам [3].

Таблица 1 – Химический состав стали 09Г2С (в процентах)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
до 0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08	95-97

Расчет основных элементов колонны на прочность состоит из следующих трех основных этапов [4]:

-расчет цилиндрической обечайки на прочность. Рассчитывается толщина стенки обечайки на основании заданного рабочего давления и допускаемого напряжения материала;

-расчет эллиптического днища на прочность. Здесь рассчитывается толщина стенки днища на основании заданного рабочего давления и допускаемого напряжения материала;

-расчет фланцевых соединений. Этап предполагает расчёт параметров фланцев и болтов для обеспечения герметичности соединения.

В данной статье рассмотрены основные этапы технологические и конструктивные проектирования колонны дебутанизации для ООО «Газпром переработка Благовещенск». На основании проведенного анализа выбран оптимальный материал для контактных устройств, обеспечивающая эффективное разделение бутана от фракции С4+. Также рассмотрены конструктивные решения, обеспечивающие прочность и надежность работы оборудования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов. – Санкт Петербург : Издательство "Недра", 2006. – 868 с. – ISBN 5-94089-074-1. – EDN USJBSX.

2. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств : примеры и задачи : учебное пособие для студентов высших технических учебных заведений / [М. Ф. Михалев и др.] ; под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Изд. 2-е, испр. и доп.. – Москва : АРИС, 2010. – ISBN 978-5-904673-05-5. – EDN QNEZND.

3. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов : учебник для студентов химико-технологических специальностей вузов / А. Г. Касаткин ; А. Г. Касаткин. – Изд. 14-е, стер. Перепечатка с 9-го изд. 1973 г.. – Москва : АльянС, 2008. – 750 с. – ISBN 978-5-903034-33-8. – EDN QNEKVP. Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки. - М.: Альфа-М, 2021. - 720 с.

4. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию : учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей высших учебных заведений / [Г. С. Борисов и др.] ; под ред. Ю. И. Дытнерского. – 4-е изд., стер. Перепечатка с изд. 1991 г.. – Москва : АльянС, 2008. – 493 с. – ISBN 978-5-903034-35-2. – EDN QNEKWT.

УДК 62-72

Калинин Михаил Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kalinin Mikhail Alexandrovich, student of Komsomolsk- na-Amur State University

Отряскина Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Otryaskina Tatyana Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

УВЕЛИЧЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНОГО ПРОБЕГА И ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

INCREASING THE INTER-REPAIR MILEAGE AND INCREASING THE TECHNICAL LEVEL OF RECIPROCATING COMPRESSORS

Аннотация. В данной статье рассматриваются способы увеличения межремонтного пробега поршневых компрессоров. В работе выделяются главные факторы, которые оказывают влияющие на надежность, а также долговечность компрессорного оборудования. Также в работе предлагаются различные методы повышения ресурса, в том числе применение современных материалов, оптимизацию конструкции, внедрение систем мониторинга и диагностики технического состояния, совершенствование технологий обслуживания и ремонта. Больше всего в работе акцентируется внимание на применении смазочных материалов, которые должны будут обеспечивать оптимальные условия работы компрессора.
Abstract. This article discusses ways to increase the maintenance mileage and improve the technical level of reciprocating compressors, which are a very important element of most industrial systems. The main factors that affect the reliability and durability of compressor equipment are highlighted. The work also suggests various methods of resource enhancement, including the use of modern materials, design optimization, the introduction of monitoring and diagnostic systems for technical condition, and the improvement of maintenance and repair technologies. Most of all, the work focuses on the use of lubricants, which will have to ensure optimal operating conditions for the compressor.
Ключевые слова: поршневой компрессор, межремонтный пробег, надежность, долговечность, техническое обслуживание, износ, смазочные материалы, мониторинг состояния, диагностика.
Keywords: reciprocating compressor, inter-repair mileage, reliability, durability, maintenance, wear, lubricants, condition monitoring, diagnostics.

Поршневые компрессоры широко применяются в различных отраслях промышленности: машиностроении, энергетике, химической промышленности, пищевой промышленности и других. Они используются для сжатия и подачи воздуха, различных газов и хладагентов. Надежность и долговечность компрессорного оборудования напрямую влияют на эффективность и бесперебойность производственных процессов. Увеличение межремонтного пробега и повышение технического уровня поршневых компрессоров являются важными задачами, направленными на снижение эксплуатационных затрат и повышение общей производительности оборудования [1].

Срок службы и межремонтный пробег поршневого компрессора зависят от множества факторов, которые можно разделить на следующие группы:

-фактор конструктивных особенностей, который включает в себя качество проектирования, а также изготовления деталей компрессора, выбор материалов, наличие эффективной системы смазки и охлаждения;

-фактор условия эксплуатации, который включает в себя рабочее давление, температура, тип сжимаемого газа, степень загрязненности окружающей среды;

-фактор техническое обслуживание, который включает в себя соблюдение технического регламента обслуживания, качество используемых расходных материалов (масла, фильтры), своевременное выявление и устранение неисправностей;

-фактор режимы работы, который включает в себя частоту пусков и остановок, длительность непрерывной работы, наличие перегрузок.

Основными причинами выхода из строя поршневых компрессоров являются:

-цилиндры, поршни, поршневые кольца подвергаются интенсивному износу из-за трения, абразивного воздействия частиц загрязнений, коррозии и эрозии [2];

-клапаны компрессора работают в условиях высоких скоростей и давлений, подвергаясь усталостным разрушениям, износу и коррозии;

-недостаточное наличие смазки, перегрузки и загрязнения приводят к износу подшипников коленчатого вала и шатунов;

-загрязнение масла, недостаточное давление, выход из строя масляного насоса может привести к усиленному износу деталей;

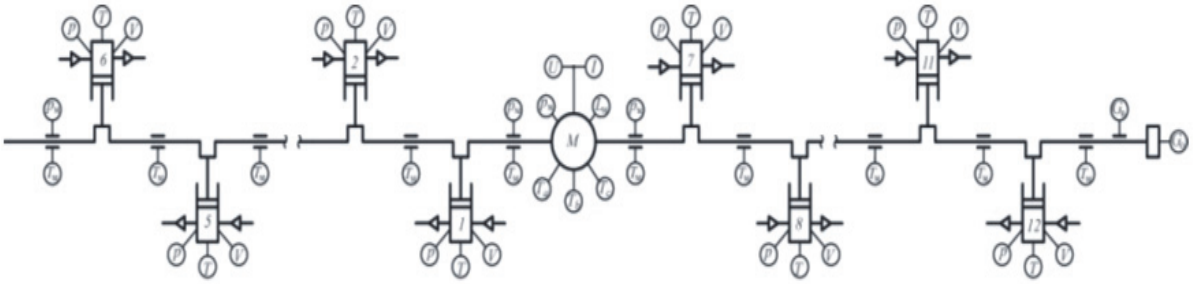
-перегрев компрессора способствует ухудшению свойств масла, а также увеличению износа деталей и снижению эффективности работы.

Для увеличения межремонтного пробега и повышение технического уровня поршневых компрессоров можно достигнуть за счет мероприятий:

-применять современные материалы, тем самым использовать износостойкие и коррозионностойких материалы для изготовления деталей (чугун с добавками легирующих элементов, керамические покрытия), клапанов (нержавеющие стали, титановые сплавы) и подшипников (подшипники с керамическими телами качения) [3];

-оптимизировать конструкции, через улучшение геометрии деталей, снижение массы поршня и шатуна, применение эффективных систем уплотнения, разработка оптимальной системы охлаждения и смазки;

-устанавливать системы мониторинга и диагностики технического состояния, через установку датчиков температуры, давления, вибрации, расхода масла, а также других параметров, которые позволят в режиме реального времени отслеживать текущее состояние компрессора и своевременно выявлять признаки неисправностей (рисунок 1);



p – давление, вакуум; T – температура; V – вибрация; pм, Tм – соответственно давление, температура масла; Ta, Tb, Tc – температура обмоток электродвигателя; U – напряжение питания электродвигателя; I – ток электродвигателя;

Lм – уровень масла в электродвигателе; Gв – провис вала; Go – осевой сдвиг[2]

Рисунок 1 - Упрощенная схема поршневого компрессора с установленными датчиками.

-совершенствование технологий обслуживания и ремонта, через внедрение самых распространённых методов очистки, восстановления деталей, применение качественных запасных частей, расходных материалов, доводить до сотрудников правила эксплуатации и обслуживания компрессоров;

-необходимо использовать специализированные компрессорные масла, которые в свою очередь должны обладать высокой термоокислительной стабильностью, хорошими смазывающими, антикоррозионными свойствами. Главным параметром масла является его вязкость, которая обязательно должна соответствовать условиям работы компрессора. Постоянный контроль состояния масла, а также своевременная его замена важны для обеспечения надежности и долговечности компрессоров.

В таблице 1 приведены основные методы повышения надежности поршневых компрессоров с описанием основных достоинств и недостатков метода.

Таблица 1 - Классификация методов повышения надежности поршневых компрессоров

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Применение новых материалов	Использование износостойких, коррозионностойких материалов.	Повышение ресурса, снижение износа, увеличение надежности.	Высокая стоимость материалов, сложность обработки.
Оптимизация конструкции	Улучшение геометрии деталей, снижение массы, применение эффективных уплотнений и систем смазки.	Снижение нагрузок, повышение эффективности, улучшение теплоотвода.	Сложность разработки и внедрения, необходимость проведения испытаний.
Мониторинг состояния	Установка датчиков и систем автоматического контроля за параметрами работы компрессора.	Своевременное выявление неисправностей, предотвращение аварий, оптимизация режимов работы.	Высокая стоимость оборудования, необходимость квалифицированного персонала для обслуживания.
Совершенствование ТО и Р	Использование современных методов восстановления деталей, применение качественных запасных частей и расходных материалов.	Увеличение срока службы восстановленных деталей, повышение надежности после ремонта.	Необходимость специального оборудования и квалифицированного персонала.
Применение качественных СМ	Использование специализированных компрессорных масел с улучшенными характеристиками.	Снижение трения и износа, защита от коррозии, улучшение отвода тепла.	Необходимость правильного выбора масла в зависимости от условий работы компрессора, регулярный контроль состояния масла и своевременная замена.

Смазочные материалы играют важную роль в обеспечении надёжности и долговечности работы поршневых компрессоров, выполняя следующие функции [4]:

-масло образует тонкую пленку между трущимися поверхностями, уменьшая трение и предотвращая прямой контакт деталей;

-масло отводит тепло от нагретых деталей, предотвращая их перегрев и деформацию;

-масло образует защитную пленку на металлических поверхностях, предотвращая коррозию, вызванную влагой и агрессивными газами;

-масло смывает с трущихся поверхностей частицы износа и загрязнений, перенося их в фильтр;

-масло уплотняет зазоры между деталями, предотвращая утечки сжимаемого газа.

Выбор правильной смазки имеет важное значение для обеспечения правильной работы компрессора. Необходимо учитывать тип сжимаемого газа, рабочее давление, температуру и ряд других факторов. Рекомендуются синтетические компрессорные масла, поскольку они обладают более высокой термоокислительной стабильностью и лучшими смазочными свойствами, чем минеральные масла [2].

Увеличение межремонтного пробега и повышение технического уровня поршневых компрессоров — два важнейших мероприятия, которые приводят к снижению эксплуатационных расходов оборудования и повышению общей производительности. Для комплексного

рассмотрения проблемы необходимо учитывать все конструктивные особенности компрессора, условия эксплуатации, качество обслуживания и используемые смазочные материалы. Современные материалы, оптимизация конструкции, системы мониторинга и диагностики состояния, а также технологии обслуживания и ремонта способствуют повышению надежности и срока службы поршневых компрессоров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Веригин, И. С. Компрессорные и насосные установки: учебник для образовательных учреждений, реализующих программы начального профессионального образования / И. С. Веригин ; И. С. Веригин. – Москва : Академия, 2007. – (Федеральный комплект учебников). – ISBN 978-5-7695-2569-8. – EDN QMJPOD.

2. Кушнаренко, Е. А. Особенности эксплуатации и диагностирования оборудования сырьевого производства: компрессорное оборудование / Е. А. Кушнаренко // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов : Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, Москва, 14 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Печатный цех, 2023. – С. 164-167. – EDN NHTOIL. Судо, Е.В., Сидоренко, Н.А. Эффективная диагностика поршневых машин на основе современных практик.

3. Эффективная диагностика поршневых машин на основе современных практик / Г. А. Зуев, И. В. Минкин, Р. З. Хадиев, М. Н. Сапелкин // Химическая техника. – 2015. – № 4. – С. 32. – EDN TSNPEZ.

4. Автономова, И. В. Особенности эксплуатации компрессорных установок с винтовыми маслозаполненными компрессорами на газе повышенной плотности / И. В. Автономова, А. Ю. Шур // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 5(17). – С. 31. – EDN RHALGD.

УДК 621.9

Косачев Кирилл Дмитриевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kosachev Kirill Dmitrievich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Саблин Павел Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, декан Факультета машиностроительных и химических технологий, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pavel Alekseevich Sablin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Mechanical Engineering and Chemical Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

КОНЦЕПЦИЯ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ

THE CONCEPT OF A CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR CUTTING PROCESSES

Аннотация. Представлено современное состояние вопроса по повышению эффективности процесса резания в эпоху цифровизации обрабатывающей промышленности. На основании существующих данных предложена концепция киберфизической системы для процессов механической обработки, позволяющая повысить эффективность процесса резания.

Abstract. The current state of the issue of increasing the efficiency of the cutting process in the era of digitalization of the manufacturing industry is presented. Based on the existing data, the concept of a cyberphysical system for machining processes is proposed, which makes it possible to increase the efficiency of the cutting process.

Ключевые слова: цифровой двойник, механическая обработка, обработка резанием, шероховатость поверхности, индустрия 4.0, нелинейная динамика, нейросеть

Key words: digital twin, mechanical processing, cutting processing, surface roughness, industry 4.0, nonlinear dynamics, neural network

В настоящий момент, в эпоху развития цифровизации и перехода к индустрии 4.0, в машиностроительной промышленности актуально применение различных цифровых методов, повышающих эффективность обработки. Перспективным путем по повышению эффективности процесса резания является обработка большого количества поступающих данных о процессе резания путем компьютерных вычислений, а также разработка цифровых моделей, повторяющих свойства реального объекта и позволяющих минимизировать затраты на проектную и технологическую подготовку производства (цифровых двойников).

Цель данной работы заключается в рассмотрении современного состояния вопроса по повышению эффективности процесса резания путем различных цифровых методов и предложение варианта повышения эффективности механической обработки.

Обработка материалов резанием является одним из наиболее распространенных способов изготовления деталей машин. Герберт Иванович Грановский определяет обработку резанием как все способы и виды срезания припуска (некоторой масса металла, специально оставленной на обработку) и превращения его в стружку [1].

В работе, обобщающей многолетние исследования по расширению использования цифровизации в процессе механической обработки [2], Ю. Г. Кабалдин утверждает, что для цифровых производств механообрабатывающее оборудование необходимо проектировать как кибер-физическую систему. Кибер-физическая система – это основная технологическая единица цифрового производства, характеризующаяся высокими адаптивными и интеллектуальными возможностями за счет ассоциативного восприятия информации и постоянного обучения, оценки текущего состояния и прогнозирования будущего, способностей автономно решать задачи оптимизации и принимать правильные решения на основе анализа многомерных данных, учитывая различные, зачастую скрытые факторы реального производства. В то же время, механообрабатывающее оборудование можно представить как комплекс компонентов системы станок-приспособление-инструмент-деталь (СПИД). В качестве подуровней создания единой кибер-физической системы механообрабатывающего оборудования следует рассматривать создание отдельных систем каждого компонента технологической системы с высокими адаптивными и интеллектуальными возможностями.

Современное развитие технических наук, а также прикладного программного обеспечения предлагает широкий набор функций по решению задач проектирования отдельных компонентов системы станок-приспособление-инструмент-заготовка. Однако основная сложность задачи создания единой кибер-физической системы процесса обработки резанием проявляется при приведении во взаимодействие компонентов технологической системы механической обработки, и прогнозировании результатов этого взаимодействия. Ввиду многофакторности процесса резания прогнозирование качества поверхности обрабатываемой детали, износа инструмента, стабильности работы станка становится нетривиальной задачей. Получение информации о выходных параметрах процесса резания (точность, качество поверхности заготовки, стойкость и прочность режущего инструмента) в режиме реального времени, а также их прогнозирование непосредственно во время обработки является трудной задачей. В настоящий момент наибольшее распространение в сборе данных о процессе резания в режиме реального времени получила обработка сигналов с датчиков виброакустической эмиссии (ВАЭ), установленных на инструменте. Современное развитие информатики и вычислительной техники позволило перейти от закономерностей, полученных путем исследования и обобщения большого количества экспериментальных данных к формированию более сложных моделей, основанным на обработке большого количества данных в режиме реального времени, а также расширения универсальности результатов использования вычислений благодаря применению различных способов машинного обучения (искусственного интеллекта). Использование машинного обучения позволяет сократить время на подготовку производства и снизить экономические затраты.

В работе [3] проведено исследование по повышению динамической устойчивости процесса резания на основе подходов нелинейной динамики (фрактальной размерности, информационной энтропии, старшего показателя Ляпунова) и искусственного интеллекта. Динамическая устойчивость станка – это способность системы станка сопротивляться возникновению автоколебаний. Возникновение автоколебаний приводит к снижению качества

поверхности обработанной детали, повышенному износу инструмента, снижению интенсивности обработки. Разработаны алгоритмы, обрабатывающие поступающие сигналы ВАЭ. Обученные нейросети на основании входных параметров процесса резания, а также рассчитанных показателей нелинейной динамики выдают корректирующий сигнал на изменение параметров процесса резания с целью повышения динамической устойчивости системы резания. Результаты данной работы позволяют за счёт повышения динамической устойчивости системы резания повышать качество поверхности детали, подбирая наиболее оптимальные режимы резания. Расчетные критерии нелинейной динамики демонстрируют хорошую применимость для моделирования и прогнозирования процесса резания. Однако для формирования комплексной киберфизической системы механобрабатывающего оборудования требуется также учитывать состояние инструмента, его износ во время работы системы, а также состояние различных систем станка, и динамику их изменения во времени.

На основании полученного результата авторами на рисунке 1 предлагается концепция процесса механической обработки заготовок как единой киберфизической системы, в которой учитывается большее количество факторов, оказывающих влияние на процесс резания, в результате чего возможно повышение эффективности обработки деталей.

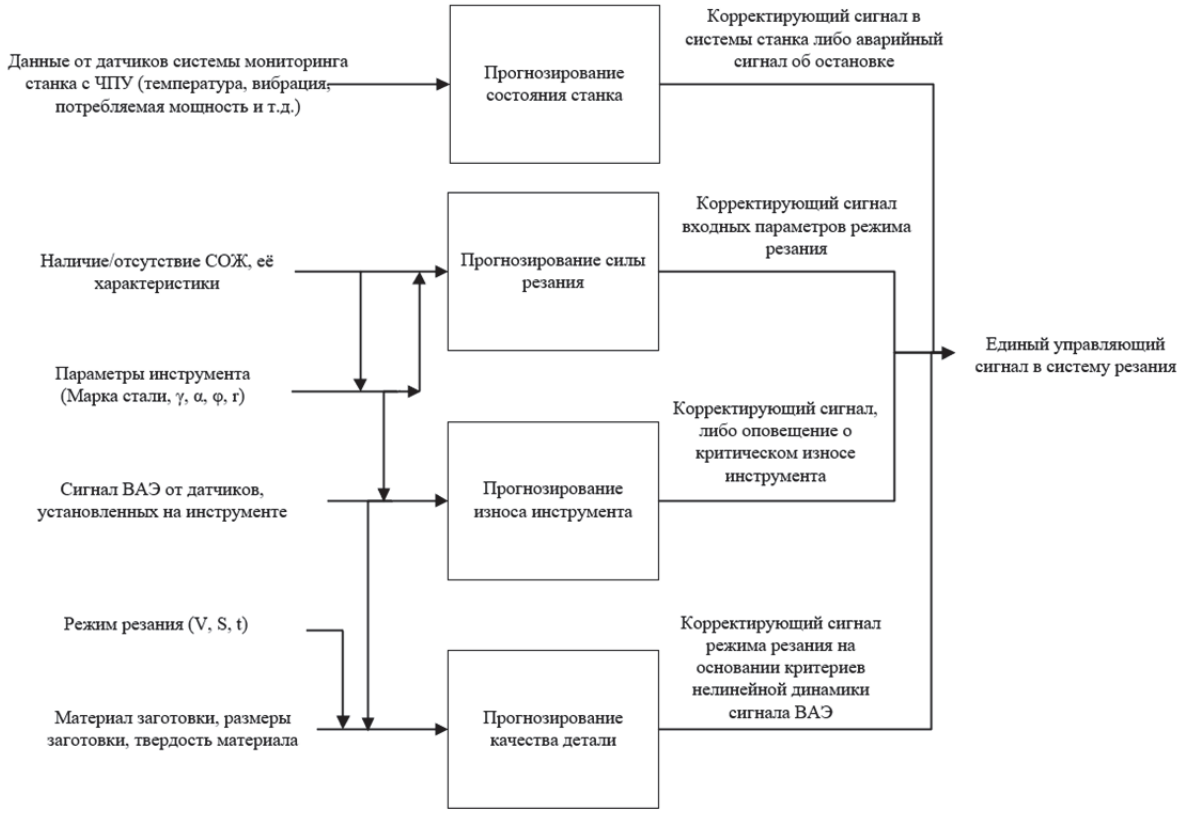


Рисунок 1 – Концепция кибер-физической системы для процессов резания

Представлено современное состояние вопроса применения цифровизации в процессах механической обработки деталей машин. Предложена концепция по усовершенствованию процессов механической обработки и формированию комплексной кибер-физической системы для процесса резания деталей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Грановский, Г. И. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. Вузов/ Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.

2. Искусственный интеллект, интернет вещей, облачные технологии и цифровые двойники в современном механообрабатывающем производстве : монография / Ю. Г. Кабалдин [и др.]. – Нижний Новгород : Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2019. – 196 с.

3. Шатагин, Д. А. Повышение динамической устойчивости процесса резания на основе подходов нелинейной динамики и искусственного интеллекта : специальность 05.02.07 «Технология и оборудования механической и физико-технической обработки» : дис. канд. техн. наук / Шатагин Дмитрий Александрович ; Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2018. – 159 с.

УДК 621.822.572.-405.8
Космынин Артем Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kosmynin Artem Alexandrovich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University
Щетинин Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортно-технологические комплексы» Дальневосточного государственного университета путей сообщения
Shchetinin Vladimir Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Complexes at the Far Eastern State University of Railways

ВЛИЯНИЕ ДОЛИ ПОРИСТОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ С ПОРИСТЫМИ ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ РАСХОДА

THE EFFECT OF POROSITY FRACTION ON THE PROPERTIES OF GAS-STATIC BEARINGS WITH POROUS FLOW RESTRICTORS

Аннотация. Проанализированы статические характеристики частично пористой газостатической опоры в зависимости от доли пористости подшипника и его удлинения. Установлено, что доля пористости заметно влияет на нагрузочные и жесткостные характеристики газовой опоры, что рекомендуется учитывать при проектировании конструкции шпиндельного узла металлообрабатывающего оборудования.
Abstract. The static properties of a partially porous gas-static support are analyzed depending on the porosity fraction of the bearing and its lengthening. It is established that the porosity fraction significantly affects the load and stiffness characteristics of the gas support, which is recommended to take into account when designing the design of the spindle unit of metalworking equipment.
Ключевые слова: шпиндельный узел, газостатическая опора, доля пористости подшипника.
Key words: spindle assembly, gas-static support, bearing porosity fraction.

Высокоскоростная обработка (ВСО) металлов обладает рядом существенных преимуществ, которые делают её незаменимой в современном производстве, особенно в отраслях, где требуются высокая точность и производительность, таких как аэрокосмическая (корпуса компрессоров), автомобильная (блоки двигателей и трансмиссии) и медицинская промышленность (хирургические инструменты). При изготовлении алюминиевых деталей для аэрокосмической промышленности использование ВСО может сократить время обработки на 40–50% по сравнению с традиционными методами [1]. ВСО основана на использовании станков с высокой скоростью вращения шпинделя, которая может достигать 15 000…60 000 мин$^{-1}$ и более. Такие скорости позволяют значительно увеличить скорость резания, что особенно эффективно при обработке твёрдых материалов, таких как титановые сплавы и жаропрочные стали. При ВСО используются инструменты меньшего диаметра, что позволяет выполнять мелкие резы с высокой точностью. Это особенно актуально при изготовлении сложных геометрических форм, таких как лопатки турбин или медицинские имплантаты [2]. Актуальность этой темы обусловлена необходимостью сокращения времени изготовления деталей, повышения качества поверхности и снижения затрат на производство.

В Комсомольском-на-Амуре государственном университете выполнен целый ряд исследований посвященных исследованию характеристик газостатических подшипников с частично пористой стенкой вкладыша и выходных характеристик высокоскоростных шпиндельных узлов, в конструкции которых используются такие газовые подшипники [3,

4]. Между тем, открытым остается вопрос о влиянии доли пористости вкладыша подшипника на его характеристики. Под долей пористости газостатической опоры S понимается отношение суммарной площади пористых ограничителей расхода к площади вкладыша подшипника, которая равна πDL, где D – диаметр вкладыша, L – длина подшипника. С целью изучения этого вопроса в теоретическом плане разработана методика расчета грузоподъемности подшипника и жесткости смазочного слоя в зависимости от доли пористости газовой опоры.

Для представления характеристик подшипников в зависимости от безразмерного комплекса в рассмотрение введен конструктивный параметр K_C, прямо пропорциональный среднему радиальному зазору, и число сжимаемости B, которое прямо пропорционально угловой скорости вращения вала.

Исследуемая шпиндельная опора имела следующие абсолютные геометрические размеры: длина подшипника L=60 мм, диаметр подшипника D=50 мм; средний радиальный зазор c=45 мкм, диаметр пористых вставок $d_{вст}$=6 мм; раздвижка линий наддува b=30 мм, высота вставок δ=7,5 мм. В одном ряду наддува располагалось 6 вставок. Параметр питания подшипника K составлял 53,1.

Расчеты по исследованию влияния доли пористости поверхности подшипника, обусловленной изменением его длины, выполнены при $\bar{S} = 0{,}043;\ 0{,}036$ и $0{,}031$, что соответствовало относительной длине опоры L/D равной 1; 1,2 и 1,4.

На рисунке 1 показаны нагрузочные и жесткостные характеристики подшипника в зависимости от доли пористости при не вращающимся вале.

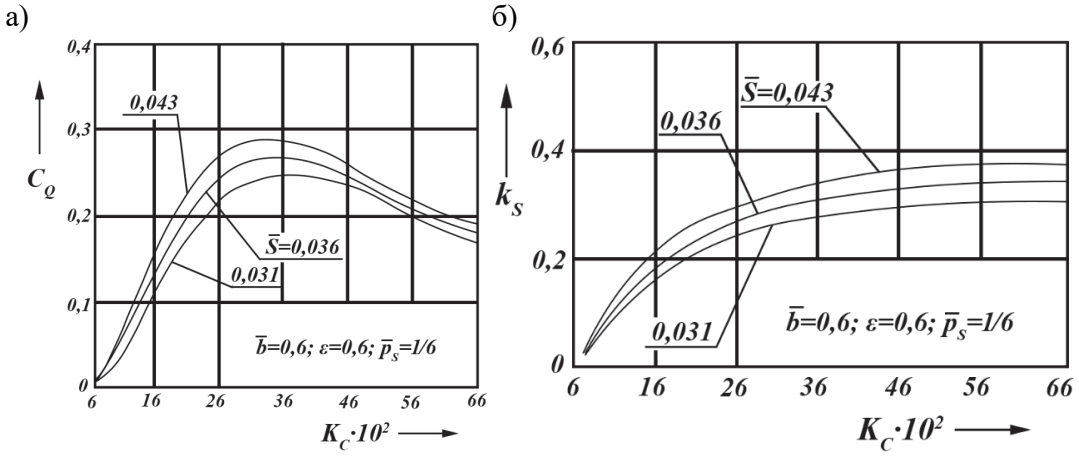


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента несущей способности C_Q (а) и коэффициента радиальной жесткости k_S (б) от параметра K_C и доли пористости подшипника $\bar{S}$

Из рисунка 1,а видно, что в исследуемом диапазоне изменения доли пористости подшипника $\bar{S}$ более высокое значение коэффициента имеют подшипники с $\bar{S} = 0{,}043$. Это можно объяснить улучшением условий смазывания поверхности, расположенной между линиями наддува газа.

Можно также отметить, что с уменьшением доли пористости вкладыша подшипника величина конструктивного параметра, доставляющая максимум коэффициенту несущей способности, смещается в область более низких значений K_C.

Зависимость коэффициента радиальной жесткости от доли пористости подшипника $\bar{S}$ и конструктивного параметра K_C показана на рисунке 1,б. Анализируя представленные графики, нетрудно убедиться, что наибольший коэффициент радиальной жесткости имеют подшипники с большей долей пористости поверхности подшипника. Как показал комплекс расчетов, такой вывод не распространяется на область высоких значений конструктивного параметра, в которой коэффициент жесткости, при разной доле пористости, практически один и тот же.

На рисунке 2 представлены нагрузочные и жесткостные характеристики подшипника при вращающимся вале. Анализ нагрузочной характеристики $C_Q = f(B, \bar{S})$ подшипников с цилиндрическими вставками (рисунок 2,а) показывает, что при невысоком числе сжима-

емости, когда влияние вращения вала невелико, подшипники с большей долей пористости поверхности имеют наибольшее значение коэффициента несущей способности.

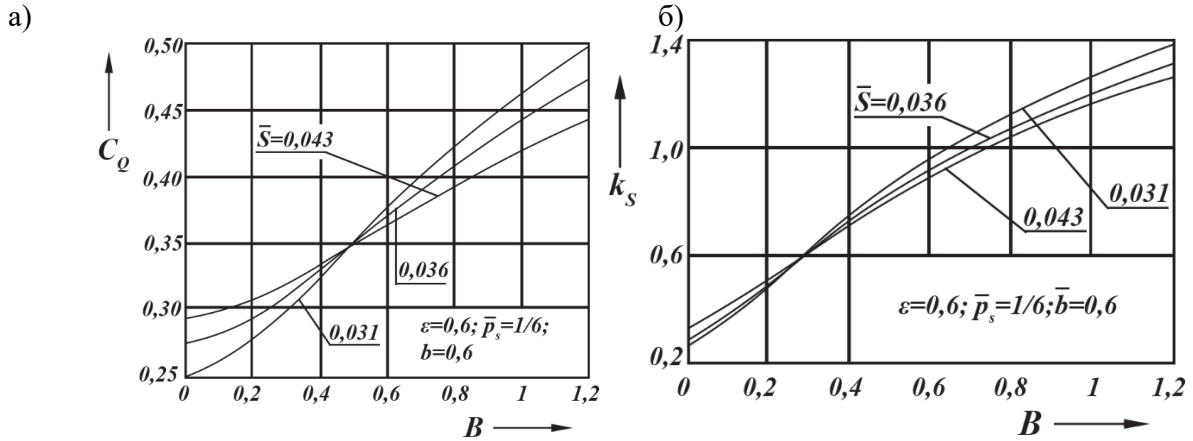


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента несущей способности C_Q (а), коэффициента радиальной жесткости k_S (б) от числа сжимаемости B и доли пористости подшипника $\bar{S}$

Однако с ростом числа сжимаемости, вследствие ослабления влияния внешнего наддува и усиление эффекта смазочного клина, более высокое значение C_Q имеют уже подшипники с пониженным значением $\bar{S}$.

На рисунке 2,б показаны жесткостные характеристики газостатической опоры из которых видна более высокая жесткость у подшипников с меньшей доли пористости, что также связано с усилением эффекта смазочного клина.

Выполненный комплекс теоретических исследований частично пористых газостатических подшипников в целом показывает, что доля пористости заметно влияет на характеристики газовых опор и, следовательно, при использовании их в конструкции шпиндельных узлов, этот фактор необходимо особо учитывать.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Schulz H. High-speed Machining / H. Schulz, T. Moriwaki // CIRP Annals. – 1992. – Т. 41, № 2. – P. 637–643. – DOI 10.1016/S0007-8506(07)63250-8.

2. Преимущества и недостатки высокоскоростной обработки // Stankoff.ru : информационно-аналитический портал. – Москва, 2023. – URL: https://www.stankoff.ru/blog/post/981 (дата обращения: 18.03.2025). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

3. Космынин, А.В. Выходные характеристики высокоскоростных шпиндельных узлов на газовых опорах: монография / А.В. Космынин, В.С. Щетинин, В.И. Шаломов [и др.]; под общей редакцией А.В. Космынина; Министерство образования и науки Российской Федерации, Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. – Москва: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2011. – 178 с. – EDN QNCXHN.

4. Космынин, А. В. Частично пористые газостатические опоры шпиндельных узлов: теория и эксперимент: монография / А. В. Космынин, С.В. Виноградов, В.С. Виноградов [и др.]. – Москва: Академия Естествознания, 2011. – 125 с. – EDN QNDAGL.

УДК 661.961.6

Кравченко Андрей Константинович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravchenko Andrey Konstantinovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кравченко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravchenko Elena Genadyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОЛОННЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСАДОЧНЫХ МОДУЛЕЙ

STUDY OF THE DESIGN FEATURES OF THE COLUMN OF THE INDUSTRIAL BENCH FOR TESTING THE EFFICIENCY OF PACKING MODULES

Аннотация. Авторами исследованы конструктивные особенности ректификационной колонны промышленного стенда для испытания эффективности применяемых в нефтегазовой отрасли перекрестноточных насадок при организации контакта фаз в насадочных модулях. Проведение опытов на предложенном промышленном стенде позволяет получать основные показатели функционирования разных по геометрическим характеристикам перекрестно точных насадочных модулей в ректификационной колонне при разделении бинарной смеси. Результаты стендовых исследований, воспроизводящие реальные процессы ректификации, используются при проектировании аппаратов, работающих с нефтяными смесями.
Abstract. The authors studied the design features of the rectification column of the industrial bench for testing the efficiency of cross-flow packings used in the oil and gas industry when organizing phase contact in packing modules. Conducting experiments on the proposed industrial bench makes it possible to obtain the main indicators of the functioning of cross-accurate packing modules of different geometric characteristics in a distillation column during the separation of a binary mixture. The results of bench studies that reproduce real rectification processes are used in the design of devices working with oil mixtures.
Ключевые слова: ректификация, первичная колонна, промышленный стенд, массообмен, перекрестноточная насадка.
Key words: rectification, primary column, industrial stand, mass transfer, cross-flow packing.

Ректификационная колонна промышленного стенда представляет собой сложный аппарат, предназначенный для разделения жидких смесей на отдельные фракции, основанный на различии их температур кипения. Конструктивно она состоит из нескольких ключевых элементов: корпуса, насадки или тарелок, дефлегматора, кипятильника и холодильника [1-3]. Эффективность работы колонны зависит от оптимального сочетания этих конструктивных элементов и их параметров. Именно поэтому моделирование конструкции ректификационной колонны для промышленных стендах позволяет прогнозировать поведение проектируемой установки и оптимизировать ее параметры для достижения максимальной эффективности процесса разделения.

Ректификационная колонна промышленного стенда [4] Ø1,4 м оснащена насадочными модулями (НМ) регулярной перекрестно точной насадки разной конфигурации в количестве 12 шт. На каждом НМ предусмотрен низконапорный распределитель жидкости. В укрепляющей секции колонны (рисунок 1) установлены НМ в виде «полосы» в количестве 6 шт. В отгонной секции колонны установлены НМ в количестве также 6 шт., геометрия которых имеет существенные различия (рисунок 2).

Верхний НМ 7 отгонной части имеет конструктивное исполнение по геометрии «полосы» (рисунок 3). Установленный ниже НМ 8 также выполнен с геометрией «полосы», но оснащен уменьшенным в два раза сечением для циркуляции пара, поток которого проходит поперек полосы дважды (рисунок 4). Ниже расположенный НМ 9 обеспечивает четырехкратный проход потока пара через модуль геометрии «полоса» (рисунок 5). Под ним расположен НМ 10 геометрии «Т-образник» (рисунок 6). Следующий НМ 11 имеет геометрию «квадрат» (рисунок 7). Самый нижний НМ 12 по геометрии – «заполненный квадрат». В таблице 1 приведены основные геометрические размеры НМ регулярной перекрестно точной насадки в ректификационной колонне.

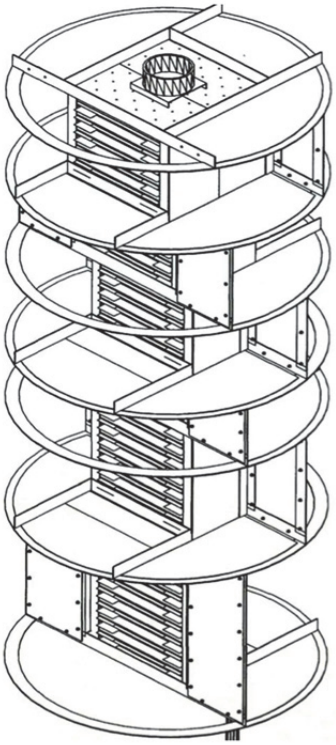
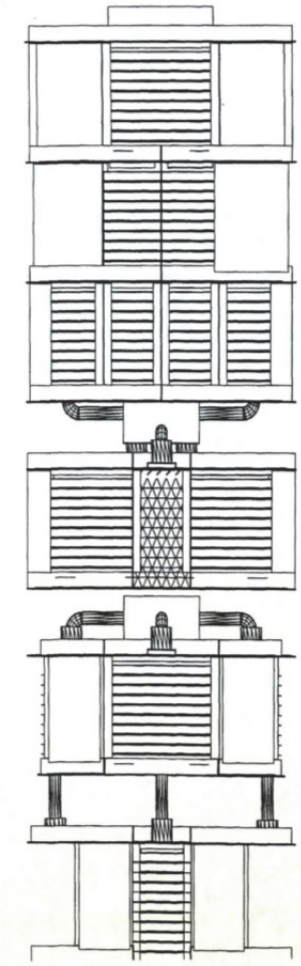


Рисунок 1 – Общий вид расположения НМ укрепляющей секции колонны промышленного стенда, модули насадки 1-6 (счет с верха секции) типа «полоса»



НМ 7 «полоса»

НМ 8 «полоса разделенная надвое»

НМ 9 «полоса разделенная на четыре»

НМ 10 «Т – образник»

НМ 11 «квадрат»

НМ 12 «заполненный квадрат»

Рисунок 2 – Общий вид расположения НМ отгонной секции колонны промышленного стенда

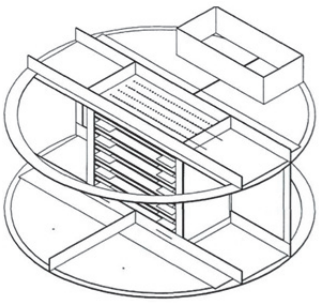


Рисунок 3 – Эскиз НМ «полоса»

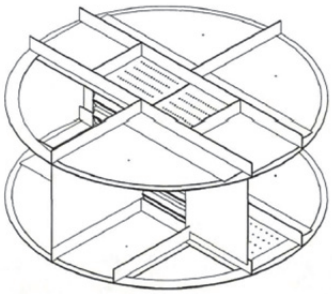


Рисунок 4 – Эскиз НМ «полоса разделенная на двое»

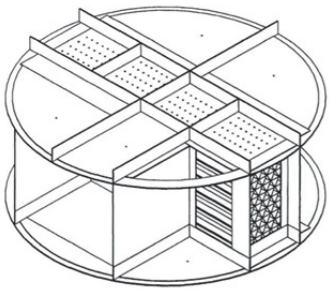


Рисунок 5 – Эскиз НМ «полоса разделенная на четыре»

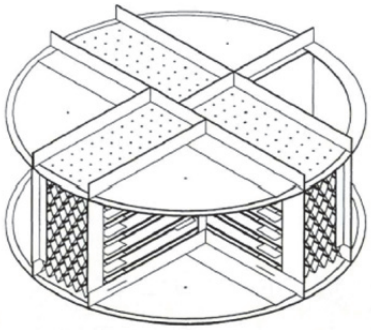


Рисунок 6 – Эскиз НМ «Т-образник»

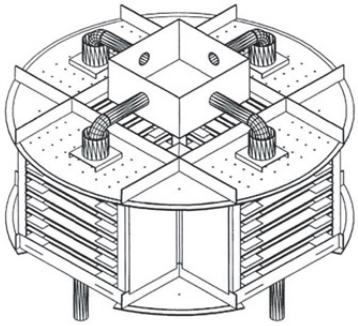


Рисунок 7 – Эскиз НМ «квадрат»

Перекрестно точные насадочные модули, выполненные в виде «полосы» и расположенные в укрепляющей секции колонны, оснащены разными сечения для прохода потоков пара и жидкости. Кроме того, для изучения влияния на массообмен времени контакта в контактных модулях типа «полоса» изменяется длина пути жидкости и пара.

Геометрические параметры насадочных модулей, расположенных в отгонной секции колонны выбирались, основываясь на кратном изменении удельных нагрузок по жидкости и пару.

Таблица 1 – Характеристика насадочных модулей в колонне К-1

Номер НМ	Высота НМ, м	Длина пути пара в насадке, м	Число отверстий в распределителе, шт.	Сечение для прохода жидкости, $м^2$	Сечение для прохода пара, $м^2$	Геометрия НМ
1	0,45	0,6	60	0,36	0,27	НМ – Полоса
2	0,45	0,45	45	0,27	0,27	НМ – Полоса
3	0,45	0,3	30	0,18	0,27	НМ – Полоса
4	0,3	0,3	30	0,18	0,18	НМ – Полоса
5	0,6	0,3	30	0,18	0,36	НМ – Полоса
6	0,9	0,3	30	0,18	0,54	НМ – Полоса
7	0,45	0,3	160	0,18	0,27	НМ – Полоса
8	0,45	0,6	156	0,18	0,135	НМ – Полоса деленная надвое
9	0,45	1,2	160	0,36	0,135	НМ – Полоса деленная на четыре
10	0,45	0,9	163	0,54	0,27	НМ – Т-образник
11	0,45	0,3	160	0,72	1,08	НМ – Квадрат
12	0,45	0,3	-	0,36	0,54	НМ – Квадрат заполненный

Исследования [2, 3] показали, что применение структурированных насадок с развитой поверхностью позволяет увеличить площадь контакта фаз и интенсифицировать процесс разделения, обеспечить более равномерное орошение насадочного модуля и снижение канальных эффектов.

Таким образом, предложенная конструкция насадочных модулей и принцип их расположения в отгонной и укрепляющей секциях колонны рассмотренного промышленного стенда дает возможность увеличить эффективность процесса ректификации и снизить энергозатраты. Это, в свою очередь, приведет к снижению себестоимости продукции и повышению ее конкурентоспособности, что является стратегической задачей отрасли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пилюгин, В. В. Методика проведения испытаний перекрестноточных насадочных контактных устройств на промышленном стенде / В. В. Пилюгин, К. Ф. Богатых, С. К. Чуракова // Теория и практика массообменных процессов химической технологии (Марушкинские чтения-2006) : Тезисы докладов III Всероссийской научной конференции "Марушкинские чтения", Уфа, 16–18 октября 2006 года / Редколлегия: Н.А. Самойлов (ответственный редактор), К.Ф. Богатых, Г.К. Зиганшин. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2006. – С. 53-54. – EDN VQNIDX.

2. Чуракова, С. К. Разработка энергосберегающих технологий нефтегазопереработки на основе перекрестноточных насадочных контактных устройств : диссертация на соискание ученой степени доктора наук / Чуракова Светлана Константиновна, 2014. – 560 с. – EDN LAOIRL.

3. Пилюгин, В. В. Разработка энергосберегающей технологии первичной переработки нефти в перекрестноточных насадочных колоннах на установках АВТ : специальность 05.17.07 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ" : автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пилюгин Владимир Васильевич. – Уфа, 2009. – 24 с. – EDN NLEUID.

4. Кравченко, А. К. Повышение эффективности работы колонны первичной переработки нефти за счет применения перекрестноточной насадки / А. К. Кравченко, Т. А. Отряскина // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 40-43. – EDN CYANZJ.

УДК 661.961.6

Кравченко Андрей Константинович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kravchenko Andrey Konstantinovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Кравченко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kravchenko Elena Genadyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСАДОЧНЫХ МОДУЛЕЙ НА ПРОМЫШЛЕННОМ СТЕНДЕ

METHODS FOR CONDUCTING EXPERIMENTS TO DETERMINE THE EFFECTIVENESS OF PACKING MODULES ON AN INDUSTRIAL BENCH

Аннотация. Авторами предложена методика проведения экспериментов на промышленном стенде с целью оценки эффективности применяемых в нефтегазовой отрасли перекрестноточных насадок при организации контакта фаз в насадочных модулях. Проведение опытов на предложенном промышленном стенде позволяет исследовались характеристики работы перекрестно точных насадочных модулей различных геометрических размеров. Полученные при этом достоверные результаты стендовых исследований можно применять при проектировании аппаратов, работающих с нефтяными смесями.
Abstract. The authors propose a method for conducting experiments on an industrial bench in order to assess the effectiveness of cross-flow packings used in the oil and gas industry when organizing phase contact in packing modules. Conducting experiments on the proposed industrial bench makes it possible to study the characteristics of cross-precision packing modules of various geometric sizes. The reliable results of bench studies obtained in this case can be used in the design of devices working with oil mixtures.
Ключевые слова: ректификация, первичная колонна, промышленный стенд, массообмен, перекрестноточная насадка.
Key words: rectification, primary column, industrial stand, mass transfer, cross-flow packing.

В современной химической технологии ректификация является основным процессом разделения смесей. Основная характеристика ректификационных установок это их разделительный потенциал. Он определяется способностью установки разделять исходную смесь на фракции с заданной чистотой. Выбор оптимальной конфигурации и режима работы ректификационной установки требует тщательного анализа и моделирования процесса разделения. Необходимо учитывать баланс между требуемой степенью разделения, энергозатратами и капитальными вложениями. Современные методики моделирования и проведения опытов на промышленных стендах позволяют точно прогнозировать поведение проектируемой установки и оптимизировать ее параметры для достижения максимальной эффективности.

В ходе экспериментальных исследований на промышленной установке предполагается проводить комплексную оценку разделительной способности ректификационной колонны. Главная задача – определение её потенциала к разделению исходной бинарной сме-

си на две фракции: дистиллят (легколетучая фракция, обогащенная легкокипящим компонентом) и остаток (тяжелая фракция, обогащенная высококипящим компонентом). По степени чистоты продуктов, получаемых на разных режимах процесса разделения, впоследствии предполагается оценивать эффективность установленных в колонне насадочных модулей. Как правило, эффективность ректификационной колонны оценивается сравнением количества теоретических тарелок, рассчитанных для достижения требуемого разделения, с фактическим числом контактных ступеней, имеющихся в колонне [1]. Понятие «теоретическая тарелка» – это абстрактная модель, представляющая собой гипотетический контактный элемент, где происходит полное установление термодинамического равновесия между паром и жидкостью. На такой тарелке пар, поднимающийся снизу, полностью обменивается компонентами с ниспадающей жидкостью, в результате чего достигается равновесное состояние, характеризуемое установившимися параметрами температуры, давления и составов паровой и жидкой фаз, неизменными во времени. Это равновесие является идеализацией, так как в реальных условиях массообмен никогда не происходит мгновенно и полностью. В действительности, достижение полного термодинамического равновесия требует бесконечно большого времени. Тем не менее, эта модель полезна для расчетов и оценки эффективности. Фактическое число контактных ступеней в колонне соответствует количеству реальных тарелок (или секций насадочной колонны), где происходит частичный массообмен между паром и жидкостью. Разница между теоретическим и фактическим числом тарелок обусловлена несовершенством реальных процессов: неполным контактом фаз, наличием перекрестных потоков, неравномерным распределением жидкости по сечению колонны, отклонениями от идеального равновесия. Эти факторы приводят к снижению эффективности колонны.

В предлагаемой методике в качестве примера рассмотрим бинарную смесь толуол – ортоксилол, кривая равновесия которой приведена на рисунке 1. На рисунке 2 приведена изобара, демонстрирующая зависимость равновесных составов паровой и жидкой фаз бинарной смеси толуол-ортоксилол от температуры.

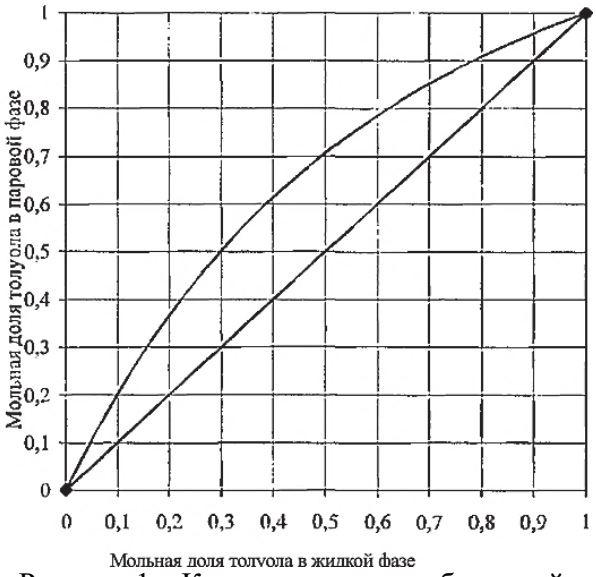


Рисунок 1 – Кривая равновесия бинарной смеси толуол – ортоксилол, связывающая составы паровой и жидкой фаз

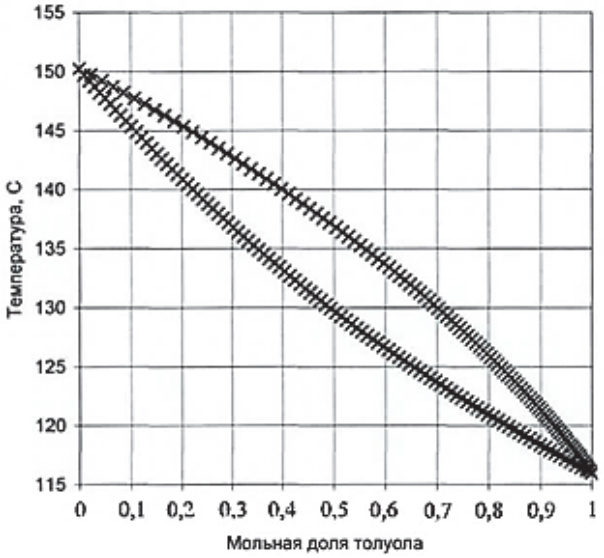


Рисунок 2 – Изобара (для абсолютного давления 1,2 кг/см²) равновесных составов паровой и жидкой фаз бинарной смеси толуол – ортоксилол

В идеальной модели ректификационной колонны, представляющей собой каскад теоретических тарелок (ступеней контакта), встречные потоки пара и жидкости достигают полного термодинамического равновесия на каждой ступени. Это означает, что после контакта на теоретической тарелке температура паровой фазы равна температуре жидкой фазы, а концентрации компонентов в обеих фазах соответствуют равновесным значениям, определяемым температурой и давлением системы. Данное равновесие описывается диа-

граммой состояния, например, диаграммой равновесия жидкость-пар, и характеризуется установлением определённого парциального давления каждого компонента в паровой фазе и соответствующей мольной доли в жидкой фазе. Эти значения связаны между собой через коэффициенты активности компонентов и давление насыщенного пара. Для бинарной смеси, например, эта диаграмма показывает зависимость равновесной концентрации одного компонента в жидкой и паровой фазах при заданной температуре.

Однако в реальных ректификационных колоннах полного термодинамического равновесия на каждой тарелке достичь невозможно. Процесс массообмена ограничен несколькими факторами: недостаточной площадью контакта фаз (что связано с конструкцией тарелки и режимом работы колонны), недостаточным временем контакта, диффузионными ограничениями (перенос вещества внутри фаз происходит с конечной скоростью), а также гидродинамическими эффектами (например, неравномерное распределение потоков по тарелке). Вследствие этого, после контакта на реальной тарелке температуры паровой и жидкой фаз будут отличаться, а концентрации компонентов в них не достигнут равновесных значений. Для оценки эффективности работы реальной ступени контакта используется понятие эффективности тарелки (КПД). Эффективность тарелки показывает, насколько близко реальный процесс массообмена приближается к теоретически возможному равновесному состоянию. КПД вычисляется как отношение реального изменения концентрации компонента на данной тарелке к изменению концентрации, которое было бы достигнуто при полном равновесии на теоретической тарелке [2,3].

Метод отбора проб с насадочных модулей

В процессе исследования ректификационной колонны, оснащенной насадочными модулями, крайне важно осуществлять точный и репрезентативный отбор проб как жидкой, так и паровой фазы. Для этого колонна оборудована специальной системой пробоотбора, включающей в себя множество штуцеров (бобышек), расположенных вдоль всей высоты колонны. Штуцеры оснащены медными трубками, каждая из которых предназначена для отбора пробы в строго определенной точки внутри колонны. Расположение точек гарантирует подробное изучение концентраций компонентов по высоте колонны. Укрепляющая секция колонны оснащена шестью точками для отбора проб жидкости, расположенных внизу каждого из шести насадочных модулей. Такая конструкция дает возможность анализировать изменение состава жидкости по мере ее продвижения вверх по колонне. Кроме того, в укрепляющей секции расположено также шесть точек для отбора проб пара, позволяющих проанализировать состав паровой фазы на каждом из этапов фракционирования. Реализация такой системы пробоотбора позволит проводить комплексный анализ процесса разделения смеси в укрепляющей части колонны.

Аналогичная система пробоотбора реализуется и в отгонной секции колонны, где также установлены шесть штуцеров для отбора проб жидкости внизу каждого из шести соответствующих насадочных модулей. Реализация такой системы пробоотбора позволяет оценить состав уже очищенного, практически конечного продукта. Однако, в отличие от укрепляющей секции, в отгонной секции отбор проб пара осуществляется из потока пара, выходящего непосредственно из каждого насадочного модуля, а не из пространства над ним. Это ключевое различие в методике отбора обусловлено тем, что в отгонной секции нас интересует состав конечного продукта непосредственно перед выходом из колонны. Шесть точек отбора пара обеспечивает побробное изучение процесса в отгонной зоне. Снаружи колонны на каждой пробоотборной трубке установлен вентиль для регулировки потока и змеевиковый холодильник из медной трубки, погруженным в емкость с проточной водой. Это необходимо для быстрого и эффективного охлаждения отобранной пробы до температуры не выше 30 °C. Такое охлаждение предотвращает потерю летучих компонентов и обеспечивает стабильность состава пробы до проведения анализа.

Для отбора разовой пробы используется герметично закрывающаяся стеклянная емкость объемом 100 мл с резьбовой пластиковой пробкой. Перед отбором емкость тщательно промывается деионизированной водой, ополаскивается соответствующим растворителем (в зависимости от анализируемых веществ), и сушится в сушильном шкафу при определенной температуре. Эта тщательная подготовка предотвращает загрязнение пробы и

обеспечивает точность анализа. Процедура отбора пробы жидкости включает предварительную промывку трубки. За 10 минут до отбора пробы через холодильник промывается жидкостью в объеме около 200-300 мл для удаления остатков предыдущей пробы и обеспечения получения достоверного образца из текущего состояния процесса в колонне. Только после этого в подготовленную стеклянную емкость осуществляется отбор 100 мл пробы.

Отбор проб пара осуществляется аналогичным образом, за исключением того, что пары конденсируются в холодильнике, и полученная жидкость собирается в емкость для отбора проб (объем пробы 100 мл). Важно отметить, что объем образующейся жидкости при конденсации пара значительно меньше исходного объема пара (приблизительно в 500 раз). Это обусловлено высокой плотностью жидкости по сравнению с паром при нормальных условиях. После отбора пробы пара холодильник полностью освобождался от остатков жидкости путем продувки инертным газом или воздухом и считается готоымв к отбору следующей пробы пара. В соответствии с технологической схемой [4], проба сырья объемом 100 мл колонны К-1 отбиралась с приема сырьевого насоса Н-1. Проба дистиллята колонны К-1 отбиралась с приема насоса Н-2. Проба остатка с низа колонны К-1 отбиралась с приема насоса Н-3. Поскольку температура в сырьевой емкости Е-1 не превышала 30°С, то на этой точке холодильник не устанавливался. Отбор проб дистиллята и остатка осуществлялся через змеевиковый холодильник, погружённый в емкость с водой. Перед отбором проб дистиллята и остатка (приблизительное время – 10 минут) трубки холодильников так же промывались путем отбора в емкость примерно 200-300 мл жидкости.

Предложенная методика проведения экспериментов на промышленном стенде позволит проводить оценку эффективности применяемых в нефтегазовой отрасле перекрестноточных насадок при организации контакта фаз в насадочных модулях различных геометрических размеров в условиях реальной ректификационной колонны при разделении модельной бинарной смеси толуол – ортоксилол. Проведение опытов на предложенном промышленном стенде позволяет исследовались характеристики работы перекрестно точных насадочных модулей различных геометрических размеров. Полученные при этом достоверные результаты стендовых исследований можно применять при проектировании аппаратов, работающих с нефтяными смесями и для совершенствования технологического процесса и повышения качества конечной продукции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пилюгин, В. В. Методика проведения испытаний перекрестноточных насадочных контактных устройств на промышленном стенде / В. В. Пилюгин, К. Ф. Богатых, С. К. Чуракова // Теория и практика массообменных процессов химической технологии (Марушкинские чтения-2006) : Тезисы докладов III Всероссийской научной конференции "Марушкинские чтения", Уфа, 16–18 октября 2006 года / Редколлегия: Н.А. Самойлов (ответственный редактор), К.Ф. Богатых, Г.К. Зиганшин. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2006. – С. 53-54. – EDN VQNIDX.

2. Чуракова, С. К. Разработка энергосберегающих технологий нефтегазопереработки на основе перекрестноточных насадочных контактных устройств : диссертация на соискание ученой степени доктора наук / Чуракова Светлана Константиновна, 2014. - 560 с. - EDN LAOIRL.

3. Пилюгин, В. В. Разработка энергосберегающей технологии первичной переработки нефти в перекрестноточных насадочных колоннах на установках АВТ : специальность 05.17.07 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пилюгин Владимир Васильевич. – Уфа, 2009. – 24 с. – EDN NLEUID.

4. Кравченко, А. К. Повышение эффективности работы колонны первичной переработки нефти за счет применения перекрестноточной насадки / А. К. Кравченко, Т. А. Отряскина // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 40-43. – EDN CYANZJ.

УДК 620.179
Кравченко Андрей Константинович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kravchenko Andrey Konstantinovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Кравченко Елена Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kravchenko Elena Genadyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ В СРЕДЕ LABVIEW

DESIGN OF A MEASURING SYSTEM FOR QUALITY CONTROL OF WELDS IN THE LABVIEW ENVIRONMENT

Аннотация. Разработанная авторами измерительная система призвана не только обеспечить эффективный контроль качества сварных швов, но и предоставить возможность автоматизированной обработки полученных данных. Отличительной особенностью является способность системы собирать информацию о состоянии сварного шва, преобразовывать её в цифровой формат и передавать на компьютер для дальнейшей обработки и анализа. Это позволяет значительно повысить производительность труда, снизить вероятность человеческой ошибки и создать полную базу данных о качестве сварных соединений. Автоматизированный анализ данных способствует более объективной оценке качества сварки и позволяет выявлять скрытые дефекты, которые могут быть упущены при визуальном осмотре.
Abstract. The measuring system developed by the authors is designed not only to ensure effective quality control of welds, but also to provide the possibility of automated processing of the data obtained. A distinctive feature is the ability of the system to collect information about the state of the weld, convert it into digital format and transfer it to a computer for further processing and analysis. This allows you to significantly increase labor productivity, reduce the likelihood of human error and create a complete database on the quality of welded joints. Automated data analysis contributes to a more objective assessment of welding quality and allows you to identify hidden defects that may be missed during visual inspection.
Ключевые слова: измерительная система, ультразвуковой дефектоскоп, пьезоэлектрический преобразователь, среда проектирования.
Key words: measuring system, ultrasonic flaw detector, piezoelectric transducer, design environment.

В условиях современной геополитической и экономической нестабильности, вопрос импортозамещения приобретает первостепенное значение для обеспечения технологической независимости страны. Особенно остро эта проблема стоит в высокотехнологичных секторах, таких как машиностроение, где контроль качества продукции играет критическую роль. Значительная часть оборудования для контроля качества сварных швов, используемого на современных машиностроительных предприятиях, поставляется из-за рубежа, что создает серьезную зависимость от внешних поставщиков и уязвимость перед санкциями или колебаниями валютных курсов. В связи с этим, разработка и внедрение отечественных измерительных систем для контроля сварных швов представляется важной задачей, способной обеспечить технологический суверенитет и экономическую безопасность страны.

Для выявления дефектов сварного шва, в соответствии с общепринятыми методиками контроля [1-3], был выбран эхо-импульсный ультразвуковой метод. Этот метод отличается своей относительной простотой реализации, высокой помехоустойчивостью и возможностью одностороннего доступа к объекту контроля, обладает высокой чувствительностью к обнаружению внутренних дефектов сварных швов, таких как поры, трещины, непровары и другие, которые могут привести к снижению прочности и надежности конструкции.

По статистике, именно этот метод используется для контроля примерно 90 % сварных соединений толщиной 4 мм и более, что подтверждает его эффективность и широкое применение в промышленности.

В качестве основы для разработки новой измерительной системы был выбран ультразвуковой дефектоскоп УД 2-70, зарекомендовавший себя как надежное и эффективное устройство. Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь, являющийся ключевым компонентом дефектоскопа, генерирует ультразвуковые волны, которые проникают в сварной шов, отражаясь от границ раздела сред и дефектов. Анализ параметров отраженных сигналов позволяет определить наличие и характер дефектов.

Для проверки работоспособности и достоверности разработанной измерительной системы [4] был использован метод моделирования в программной среде LabVIEW. Эта среда разработки, предназначенная для создания виртуальных приборов и систем автоматизации, позволила смоделировать работу системы и протестировать её алгоритмы работы без необходимости создания физического прототипа.

Это значительно ускорило процесс разработки и позволило оптимизировать работу системы на этапе моделирования. Схема разработанной системы представлена на рисунке 1 в виде блок-диаграммы, отображающей взаимодействие различных функциональных блоков системы.

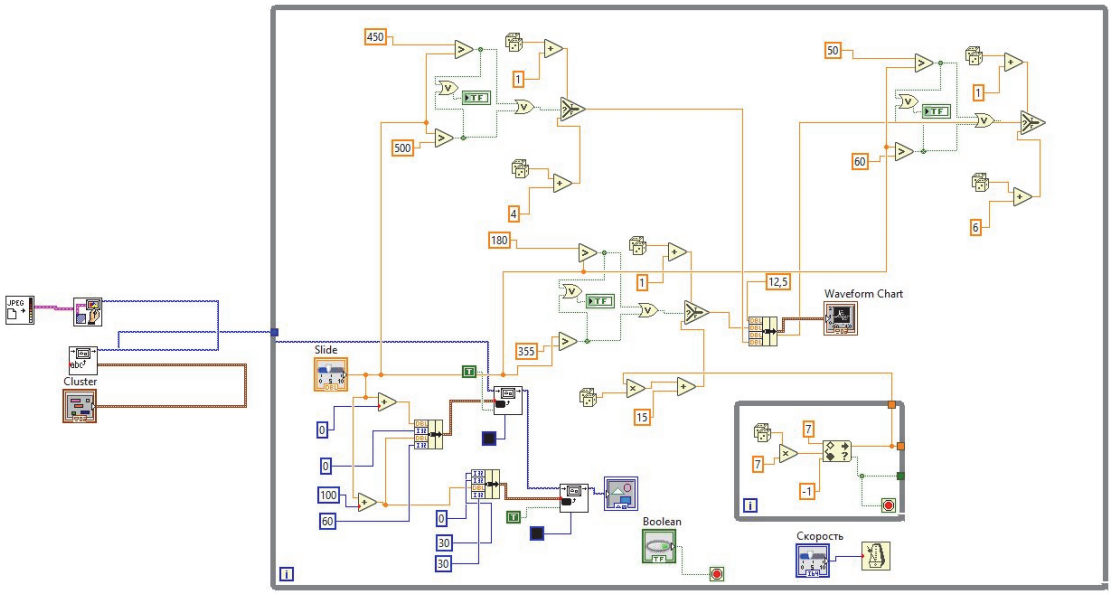
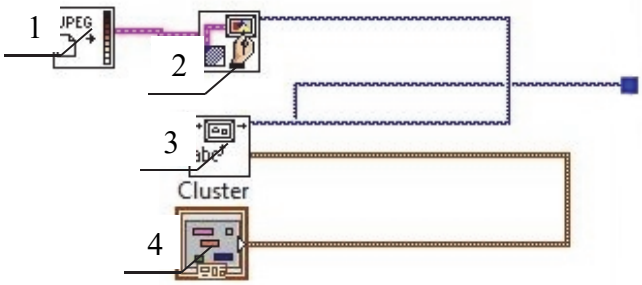


Рисунок 1 – Блок-диаграмма измерительной системы в оболочке LabVIEW

На рисунке 2 представлена часть, которая отвечает за ввод изображений в программу, пример изображения рисунок 3, поступающих на переднюю панель (Front Panel), а также за их конвертацию в формат программы.



1 – Read JPEG File VI, 2 – Draw Flattened Pixmap, 3 – Draw Text in Rect, 4 – Clusters

Рисунок 2 – Ввод и конвертация изображений

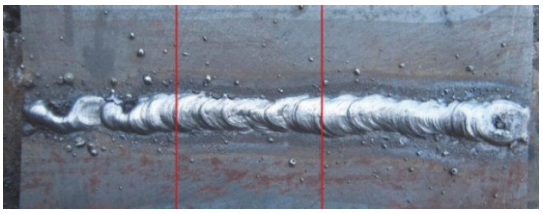


Рисунок 3 – Пример изображения

Часть, изображенная на рисунке 4, создает датчик, который можно передвигать с помощью ползунка по сварному шву (рисунок 5), также в этой части можно менять габариты датчика, цвет, расположение и другие параметры.



Рисунок 4 – Датчик на блок-диаграмме



Рисунок 5 – Датчик на передней панели

Блок-диаграмма, на рисунке 6, представляет собой все дефекты, находящиеся в сварном шве.

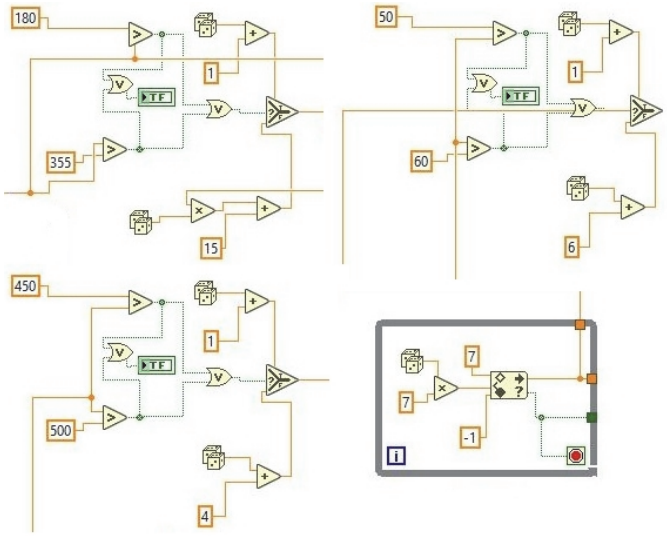


Рисунок 6 – Дефекты на блок-диаграмме

На рисунке 7 показан осциллограф на блок-диаграмме, в конце всех расчетов программа передает все поступающие сигналы (дефекты) с датчика, которые изображаются в виде волн (рисунок 8).

Взаимодействие рассмотренных блоков обеспечивает функциональность системы, превращая исходные данные с преобразователя в удобный для анализа и интерпретации цифровой отчет, включающий визуализацию дефектов и их количественные характеристики. Каждая из этих частей, в свою очередь, состоит из множества взаимосвязанных функций,

каждая из которых выполняет определённую операцию обработки данных, обеспечивая плавное и эффективное функционирование всей системы в целом. Такой модульный подход к разработке способствует повышению надежности и ремонтопригодности системы.

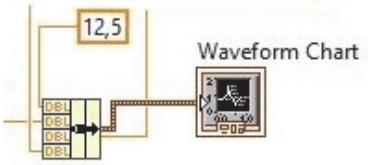


Рисунок 7 – Диаграмма на блок-диаграмме

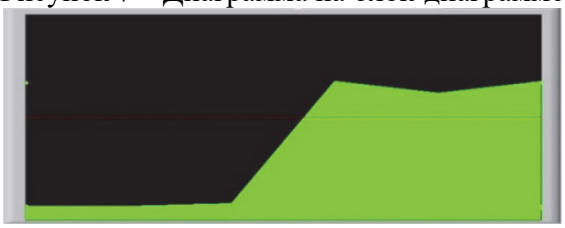


Рисунок 8 – Осциллограф и волна на передней панели

Таким образом, предложенная измерительная система для контроля качества сварных швов способна показать дефект в толще металла, сохранить измеренные значения и перенести их на ПК для подробного изучения дефекта. Система отличается увеличенной быстротой обработки данных за счет оптимального расположения блоков дефектоскопа и их соединения между собой и преобразователем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов = Non-destructive testing. Classification of types and method : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2019 г. №1073-ст : введен взамен ГОСТ Р 56542-2015 : дата введения : 2020-11-01 / подготовлен Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений». – Москва: Стандартинформ, 2019. – V, 12 с. : 29 см. – Текст : непосредственный.

2. Методы контроля качества в машиностроении: Учебное пособие для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы высшего образования по направлению подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / Е. Г. Кравченко, Б. Я. Мокрицкий, А. С. Верещагина, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2017. – 132 с. – ISBN 978-5-94178-549-0. – EDN XEMJIX.

3. Данильцев, Д. Неразрушающий контроль сварных швов / Д. Данильцев // ТехНадзор. – 2015. – № 12(109). – С. 317. – EDN XHBIWN.

4. Ковалев, А. А. Разработка измерительной системы для контроля качества сварных соединений / А. А. Ковалев, Е. Г. Кравченко // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 3 ч., Комсомольск-на-Амуре, 06–10 апреля 2020 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – С. 63-65. – EDN UTJKJD.

УДК 658.512.22

Кравченко Виктория Валерьевна, студентка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravchenko Victoria Valerievna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Серебренникова Анжела Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Машиностроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Serebrennikova Anzhela Gennadievna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВОЙ СТАЛИ АК25-ПК

HISTORY OF CREATION OF CHROMIUM-NICKEL-MOLYBDENUM STEEL AK-25 PK

Аннотация. В данной статье рассмотрена высокопрочная броневая сталь АК-25 ПК. Особое внимание она заслужила своими свойствами и характеристиками. В копилке ее свойств находится: высокая прочность, хорошая пластичность, устойчивость к повышенным нагрузкам, стойкость к температурным перепадам, длительный срок эксплуатации. Особенно важно отметить использование этой стали при строительстве атомного ледокольного флота России, где требуется сочетание высокой прочности, устойчивости к низким температурам и способности выдерживать значительные механические нагрузки при проламывании льда. Изучение свойств данной стали позволит в дальнейшем проанализировать и выбрать способы и режимы токарной обработки, которые необходимо определить в рамках целей магистерской диссертации.

Abstract. This article discusses high-strength armor steel AK-25 PK. It deserves special attention for its properties and characteristics. Its properties include: high strength, good plasticity, resistance to increased loads, resistance to temperature changes, long service life. It is especially important to note the use of this steel in the construction of the nuclear icebreaker fleet of Russia, which requires a combination of high strength, resistance to low temperatures and the ability to withstand significant mechanical loads when breaking ice. Studying the properties of this steel will allow us to further analyze and select the methods and modes of turning, which must be determined within the framework of the objectives of the master's thesis.

Ключевые слова: высокопрочная броневая сталь, обработка, область применения, характеристика, судостроение, подводная лодка.

Key words: high-strength armor steel, processing, application area, characteristics, shipbuilding, submarine.

Броневая сталь АК-25 ПК - это особый вид высокопрочного легированного сплава, который содержит хром, никель, молибден, марганец, кремний, а иногда и ванадий. В настоящее время среди всех конструкционных сталей, используемых в машиностроении, хромоникельмолибденовые сплавы считаются лучшими.

Процесс производства брони, включая её химический состав, определяется сферой применения и эксплуатационными требованиями. Для достижения оптимальных свойств броневую сталь подвергают термической обработке, которая состоит из двух основных этапов: закалки и отпуска. Закалка необходима для обеспечения требуемой твёрдости материала, тогда как отпуск позволяет достичь нужной вязкости.

В прошлом веке, научные работы А.С. Завьялова, А.А. Крошкина, И.В. Горынина, С.И. Сахина в области легирования позволили сформулировать общие принципы получения таких высокопрочных свариваемых сталей с пределом текучести до 800 МПа [1].

Основной целью исследования является изучение исторического пути разработки высокопрочной стали АК25-ПК, анализ её ключевых характеристик и определение сфер практического применения.

После завершения Второй мировой войны СССР столкнулся с необходимостью восстановления разрушенной экономики и перестройки промышленности на мирное производство. Однако напряженная международная обстановка и начало холодной войны вынудили страну активно включиться в военно-техническое соперничество с другими державами. В условиях ядерной эпохи приоритетное значение приобрело развитие средств доставки ядерного оружия, в частности, стратегической авиации, ракетного вооружения и подводного флота.

16 октября 1946 года Совет Министров СССР принял постановление о десятилетней программе военного кораблестроения (1946-1955), в котором рассматривался переход к

строительству подводных лодок по новым проектам. 17 июня 1947 года ЦНИИ-48 был передан в ведение Министерства судостроительной промышленности для разработки новых материалов и методов сварки.

5 сентября 1952 года Совет Министров СССР принял постановление о начале проектирования первой атомной подводной лодки проекта 627. Главным конструктором был назначен В.Н. Перегудов, а проектированием занимался отдел Б.К. Разлетова.

Переход на атомную энергетику повлиял на архитектурный облик корабля и параметры корпусных конструкций, увеличивая диаметр прочного корпуса, длину отсеков и всего корабля. Расчеты на прочность показали, что использование сталей ШЛ-4 (10ХСНД) и МС-1(09Г2) приведет к увеличению веса корпуса и водоизмещения, поэтому требовалась новая сталь с пределом текучести 588 МПа.

Техническое задание на разработку новой взрывостойкой стали и сварочных материалов получил ЦНИИ-48. Сотрудники института опирались на свой предыдущий научный опыт по изготовлению броневых танковых корпусов. В 1938 году был разработан новый тип высокоотпущенной брони, взамен высокотвёрдой, обладающей достаточно большой стойкостью против снарядов. Под руководством И.В. Горынина была выбрана хромоникелевомолибденовая сталь АК-25ПК с пределом текучести 588 МПа. Опытная партия стали была изготовлена в марте 1953 года.

4 июля 1958 года началось движение первой отечественной АПЛ -К-3 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Подводная лодка проекта 627, 627А «Кит»

Таким образом, результатом гонки вооружений двух ядерных держав в области подводного кораблестроения стало создание нового класса материалов – высокопрочных хорошо свариваемых взрывостойких корпусных сталей.

Характеристика высокопрочных корпусных сталей:

1. Применяются в изделиях, для которых важно уменьшение массы при сохранении высокой прочности.

2. Повышение прочности всегда ведёт к понижению пластичности, прежде всего сопротивлению хрупкому разрушению. Поэтому такую сталь оценивают по её надежности в конструкции по следующим параметрам:

а) предел текучести (σт, σ0,2 МПа);

б) трещиностойкость (удельная ударная вязкость - КIс)

3. Содержание углерода выше 0,3 – 0,4 % значительно понижает пластичность стали.

4. Повышенное содержание углерода резко увеличивает склонность к замедленному разрушению при контакте с водой. Причина этого явления до конца не ясна.

5. Склонны к хрупкости при контакте с расплавленными легкоплавкими металлами.

6. Чувствительны к различным концентраторам напряжений, внешним (отверстия с маленьким радиусом, выточки, острые переходы и т.д.) и внутренним (вредные примеси и неметаллические включения).

7.Легированием малоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей можно добиться более высокой пластичности и вязкости стали и уменьшения ее чувствительности к надрезу, а легированием высокоуглеродистых сталей достичь увеличения прочности при хрупком изломе, а иногда - перехода хрупкого излома в пластичный.

8. В некоторых случаях имеют хорошую свариваемость

9. Стали поставляются в состоянии термического улучшения (закалки и высокого отпуска) на твердость 2 8 0...3 8 8 НВ [2].

10. Специальные свойства стали определяются ее назначением.

Изначально, после открытия стали АК-25 ПК, из неё изготовлены все атомные подводные лодки I поколения, а в составе лёгких конструкций она используется вплоть до настоящего времени. Также стали марки АК давно и активно применяется в строительстве кораблей гражданского назначения: для изготовления корпусов атомных ледоколов, платформ для эксплуатации в арктических условиях и других стратегических целей [3]. Помимо применения данной в судостроении, эту сталь применяют при производстве тяжелой техники (экскаваторы, предназначенные для больших нагрузок и работы в экстремальных условиях), в гидроэнергетике (на изготовление гигантских спиральных камер, устанавливаемых на гидроэлектростанции), в строительстве газовозов, в автомобилестроении и при производстве сельскохозяйственной техники, в станкостроении и при производстве бытовой техники.

Сталь этой марки отлично переносит повышенные нагрузки, обладает хорошей пластичностью и отменными прочностными характеристиками. Производится она в виде листов, а также плитами, отливками, полосами и уголками, что широкую возможность использования в разных сферах промышленного производства.

В заключении можно сказать, что данная сталь широкоуниверсальная и прочная. Её открытие сделало большой прорыв для советского кораблестроения в целом. Заложило основы для появления новых сталей, с схожими характеристиками.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Саркисов, А. Роль Российской академии наук в создании отечественного подводного флота / А. Саркисов // Морской сборник. – 2006. – № 9(1918). – С. 12-17. – EDN HUZWYV.

2. Горынин, И. В. Конструкционные стали для судостроения / И. В. Горынин // Судостроение. – 2009. – № 5(786). – С. 14-18. – EDN MTDCBR.

3. Крылов, В. В. О проектировании корпусов многоцелевых подводных лодок из высокопрочных сталей и титановых сплавов / В. В. Крылов // Судостроение. – 2006. – № 1(764). – С. 47-50. – EDN HUXVZX.

УДК 621.9; 004.94

Кшевина Анна Николаевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kshevina Anna Nikolaevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Щелкунов Евгений Борисович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Schelkunov Evgeniy Borisovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ШТУЦЕР» С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR PROCESSING THE “FITTING” PART USING CAD/CAM/CAE SYSTEMS TOOLS

Аннотация. Работа посвящена поиску вариантов обработки детали «Штуцер» - патрубка для соединения трубопровода, ёмкостей, вентилей и других деталей в газовых и жидкостных системах с помощью инструментов CAD/CAM/CAE-системы, включающая создание 3D-модели, проработку технологических операций, анализ вариантов обработки поверхностей, выбор наиболее оптимального и написание управляющих программ обработки на станках с ЧПУ. Работа выполняется в рамках магистерской диссертации.

Abstract. The work is devoted to the search for processing options for the "Nipple" part - a branch pipe for connecting a pipeline, tanks, valves and other parts in gas and liquid systems using

CAD/CAM/CAE system tools, including the creation of a 3D model, development of technological operations, analysis of surface processing options, selection of the most optimal one and writing control programs for processing on CNC machines. The work is carried out as part of a master's thesis.

Ключевые слова: 3D-модель, технология, обработка, режущий инструмент, CAD/CAM/CAE-системы.
Keywords: 3D model, technology, processing, cutting tool, CAD/CAM/CAE systems.

Технологическая подготовка производства состоит в проработке конструкции детали на технологичность, определении пооперационной последовательности изготовления детали, подборе технологического оборудования, технологической и инструментальной оснастки, создании управляющих программ для станков с ЧПУ и оформлении технологической документации.

Технологический процесс изготовления детали включает получение заготовки, обработку заготовки на металлорежущих станках и, при необходимости термическую обработку. Современный технологический процесс обязан быстро и гибко изменяться при любых изменениях производственных ситуаций, связанных с процессом изготовления изделия. Любые изменения, вносимые в отлаженный технологический процесс, связаны с большими временными и материальными затратами. Минимизировать затраты на разработку новых технологических процессов и модернизацию применяемых возможно применяя методы современной сквозной конструкторско-технологической подготовки производства на базе CAD/CAM/CAE-систем, позволяющие создавать цельный процесс от проектирования до постановки детали на производство [1, 2].

В работе представлена последовательность решения задачи разработки и исследования технологического процесса изготовления детали «Штуцер» с применением методов сквозной конструкторско-технологической подготовки производства на базе CAD/CAM/CAE-систем, выполняемой в рамках магистерской диссертации.

Деталь «Штуцер» (рисунок 1) служит для соединения трубопровода, ёмкостей, вентилей и других деталей в газовых и жидкостных системах. «Штуцер» представляет собой корпусную деталь. Два пересекающихся под острым углом отверстия делают деталь нетехнологичной. Материал детали - коррозионностойкая жаропрочная сталь марки 08Х18Н10Т.

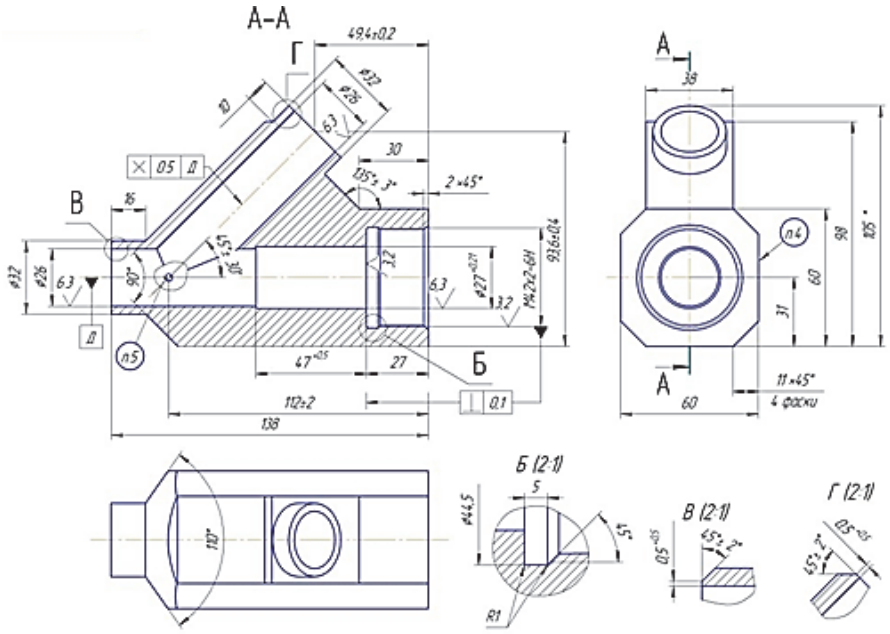


Рисунок 1 – Чертеж детали Штуцер

Ход технологического процесса определяется в первую очередь типом производства. Тип производства – среднесерийный.

В качестве системы САПР выбран программный продукт компании Siemens – NX, содержащий модули двух- и трёхмерного моделирования, инженерного анализа NX Nastran, симуляции обработки с возможностью получения готовых управляющих программ для станков с ЧПУ [1, 2].

После анализа технологичности конструкции детали была создана ее 3D-модель, представленная рисунке 2.

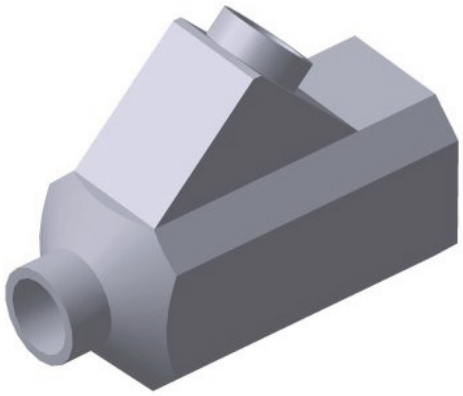


Рисунок 2 – 3D модель детали «Штуцер»

В CAD-модуле проектируется заготовка детали, выполняется ее 3D-модель.

Используя информацию о готовой детали, содержащуюся в двухмерном рабочем чертеже детали разрабатывается маршрут обработки, и прорабатываются технологические операции.

При разработке технологического процесса используются библиотеки NX, хранящие свойства конструкционных материалов, сведения о режущем инструменте и металлорежущем оборудовании. При необходимости можно использовать инструмент из электронных каталогов компаний, производящих режущий и вспомогательный инструмент, например, «Многофрез», «ООО СКИФ-М», КЗТС и др. На рисунке 3 показаны примеры инструмента производства «ООО СКИФ-М» [3], выбранного для изготовления детали.

а) б)



в) г)

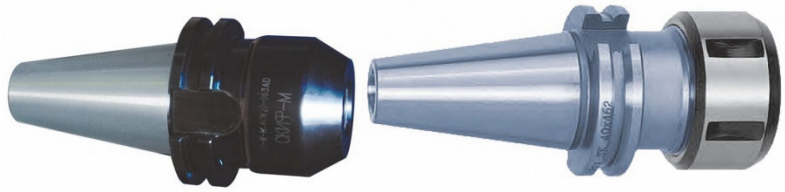


Рисунок 3 – Инструмент производства «ООО СКИФ-М»:
а) сверло со сменными режущими пластинами и внутренним подводом СОТС модели DT190-026WN32R01SO07-5D-IK; б) концевая 4-х зубая фреза с центральным зубом с радиусом при вершине модели MT190VB-006Z06R04-13-L057-r10 TAS; в) патрон 7/24 DIN 69871 AD, для инструмента с хвостовиком Weldon DIN 1835-1 B, с подачей СОТС через центральное отверстие модели TH-NC30W18H063AD; г) патрон цанговый 7/24 DIN 69871 системы OZ модели TH-NC30Z25H080AD

Производителями инструмента предлагаются различные варианты режущего инструмента, подходящего для обработки поверхностей детали. При разработке технологических операций необходимо выбрать тот инструмент, применение которого позволит выполнить обработку наиболее эффективно.

В приложения «Обработка» системы Siemens NX моделируются различные стратегии предварительной и окончательной обработки поверхностей детали. Выбираются наиболее производительные. Для выбранного оборудования, режущего инструмента выполняется постпроцессирование траектории инструмента для получения управляющих программ [4].

Помимо высокой производительности необходимо обеспечить и заданную на чертеже точность обработки. Нагрузки на инструмент и заготовку, возникающие при их взаимодействии в процессе резания, вызывают упругие и пластические деформации, что в свою очередь влияет на точность формы и размеров детали.

Модуль инженерного анализа NX Nastran позволяет выполнить проверочные расчеты напряженно-деформированного состояния заготовки и режущего инструмента в процессе обработки. Анализируя результаты расчета выбирается вариант, сочетающий в себе высокую производительность с наименьшими нагрузками и деформациями. На рисунке 4 показана концевая фреза с наложенной сеткой (а) и эпюра деформации (б) фрезы под воздействием нагрузки, равной силе резания.

В результате проведенной работы получается готовый технологический процесс.

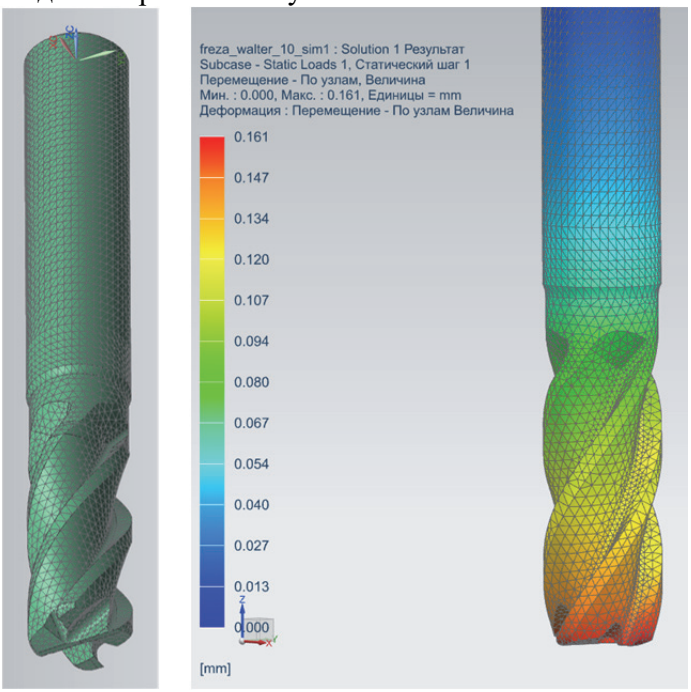


Рисунок 4 – Визуализация деформации фрезы в процессе врезания

В работе представлена последовательнось решения задачи разработки и исследования технологического процесса изготовления детали «Штуцер» с применением методов сквозной конструкторско-технологической подготовки производства на базе CAD/CAM/CAE-систем, включающая создание 3D-модели, проработку технологических операций, анализ вариантов обработки поверхностей, выбор наиболее оптимального и написание управляющих программ обработки на станках с ЧПУ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Султангарева, А. С. Сквозное проектирование на базе 3D-моделирования / А. С. Султангарева, А. И. Пронин // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов : Материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 10–21 апреля 2017 года / Ответственный редактор Э.А. Дмитриев. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2017. – С. 1041-1044. – EDN YQFKKD.

2. Исследование и разработка конструкции детали кронштейн с использованием CAD/CAE систем / А. И. Пронин, Е. Б. Щелкунов, А. Е. Султангареева [и др.] // Ученые за-

писки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2017. – Т. 1, № 1(29). – С. 27-32. – EDN YKTDPD.

3. Каталог «ООО СКИФ-М» г. Белгород https://www.skif-m.net/product/ дата обращения 28.03.2025

4. Щелкунов, Е. Б. Выбор оптимальной стратегии обработки корпусной детали с помощью CAD/CAM-систем / Е. Б. Щелкунов, Р. С. Карпов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 14–18 ноября 2022 года / Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 192-194. – EDN CYVFUM.

УДК 620.192

Лазарева Екатерина Петровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lazareva Ekaterina Petrovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Григорьев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология сварочного и металлургического производства имени В.И, Муравьева», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grigorev Vladimir Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department "Technology of Welding and Metallurgical Production named after V.I. Muravyov", Komsomolsk-na-Amure State University

ПРИЧИНЫ НЕВЫЯВЛЕНИЯ НЕПРОВАРА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ СПЛАВА ВТ23, ВЫПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ

REASONS FOR NON-DETECTION OF NON-WELDING IN THE WELDED JOINT OF VT23 ALLOY MADE BY ELECTRON BEAM WELDING

Аннотация. Проведено исследование причины невыявления дефекта «непровар» при неразрушающем контроле сварного соединения титанового сплава ВТ23, выполненного двусторонней электронно-лучевой сваркой. Установлено, что причиной невыявления служит: плоскость раскрытия дефекта при рентгенографическом контроле 0,1 мм; наличие разности толщин и отверстий при проведении ультразвукового контроля и нахождение непровара в плоскости перехода толщин; отсутствие визуализации сварного шва после операции механической обработки. Для решения вышеуказанных проблем предложено производить макротравление и ультразвуковой контроль сварного шва непосредственно после операции электронно-лучевой сварки.

Abstract. A study of the reason for the non-detection of the "non-welding" defect during non-destructive testing of a welded joint of titanium alloy VT23 made by two-way electron beam welding has been conducted. It was found that the reason for the non-detection is: the plane of the defect opening during X-ray inspection of 0.1 mm; the presence of a difference in thickness and holes during ultrasonic inspection and the presence of a non-weld in the plane of thickness transition; the lack of visualization of the weld after the machining operation. To solve the above problems, it is proposed to perform macro etching and ultrasonic inspection of the weld immediately after the electron beam welding operation.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, сплав ВТ23, электронно-лучевая сварка, непровар

Key words: non-destructive testing, VT23 alloy, electron beam welding, non-welding

В современном мире элементы конструкций летательных аппаратов представляют собой сложные пространственные формы, которые изготавливаются из цветных металлов, преимущественно из титановых и алюминиевых сплавов [1]. Титановые сплавы нашли свое применение в несущих силовых конструкциях. При изготовлении силовых толстостенных элементов титановых сплавов используется электронно-лучевая сварка.

Актуальность электронно–лучевой сварки (ЭЛС) обусловлена её преимуществами, среди которых высокий КПД, возможность сваривать тугоплавкие материалы, получать качественный шов, минимизировать деформацию деталей и конструкций, при этом у ЭЛС имеется высокая производительность и экономичность. Доминирующим преимуществом ЭЛС является возможность соединения изделий до 400 мм за один проход [2]. При этом к качеству сборки деталей под сварку предъявляются жесткие требования. Зазор под электронно-лучевую сварку не должен превышать $0^{+0,2}$ мм, шероховатость поверхности заготовок не более Ra 3,2 мкм. Нарушение вышеуказанных требований может привести к образованию таких дефектов как непровар и несплавление. Известны случаи [3] не выявления дефектов в сварных соединениях титановых сплавов, как например субмикропористость. Причина не выявления является максимальная разрешающая способность современных рентгенографических комплексов 0,1 мм. Для исследования причины образования непровара был предоставлен элемент из сплава ВТ23 с наличием трещины, выходящей на поверхность.

Целью настоящего исследования является установление причин невыявления дефекта «непровар» при неразрушающем контроле сварного соединения титанового сплава ВТ23, выполненного двусторонней электронно-лучевой сваркой.

При осмотре поверхности разрушения выявлена зона с отсутствием провара соединяемых элементов при сварке (рисунок 1). Поверхность разрушения светло–серая, окисления поверхности нет. Дефектов металлургического характера не выявлено. На поверхности с отсутствием провара имеются цвета побежалости, образовавшиеся при выполнении операции подварки. Границы разрушения и зоны несплавления имеют неровные края. На поверхности несплавления имеются следы механической обработки, выполняемой при подготовке элементов под сварку. В изломе, в зоне несплавления следов пенетранта, применяемых при проведении контроля цветной дефектоскопии выявлено не было.



Рисунок 1 – Непровар, выявленный после долома

Принято решение симитировать условия образования непровара на электронно-лучевой установке (рисунок 2). На сварных образцах 1.1, 1.2, 1.3 визуально непровар не выявлен, наблюдается пересечение двух сварных швов (рисунок 2, б). На сварном образце 1.4 визуально выявлен непровар, сварные швы не пересекаются. На сварном образце 1.5 визуально непровар не выявлен (рисунок 3.7). На двух торцах образца 1.4 выполнена механическая обработка фрезой, причем на одном из торцев также выполнена обработка шарошкой. Выполнен рентгенографический контроль сварных образцов. На всех образцах 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 дефект типа непровар не выявлен, выявлены цепочки пор, которые не являются объектом исследования в данной работе.

По результатам контроля изготовленных имитационных сварных образцов при выполнении операций визуализации расположения сварных швов выявлено, что при электронно–лучевой сварке в два прохода с обеспечением неполного провара (отсутствие пересечения) сварных швов невозможно выявить данный дефект методом рентгенографического и капиллярного контроля. Методом ультразвукового контроля данный дефект выявлен.

При соблюдении технологии и режимов сварки обеспечивается пересечение сварных швов при сварке за 2 прохода с двух сторон.

Принято решение произвести ультразвуковой контроль рассматриваемого элемента и имитатора. Было выявлено, что при сканировании образца 1.4 (рисунок 2, б) и рассматриваемого элемента, имеющего сечение «двутавр» амплитуда эхо-сигнала превышает пороговое значение как при сканировании образца 1.4 в зоне непровара (рисунок 3), так и при сканировании сечения «двутавр» в местах перехода толщин (рисунок 4).

а) б)

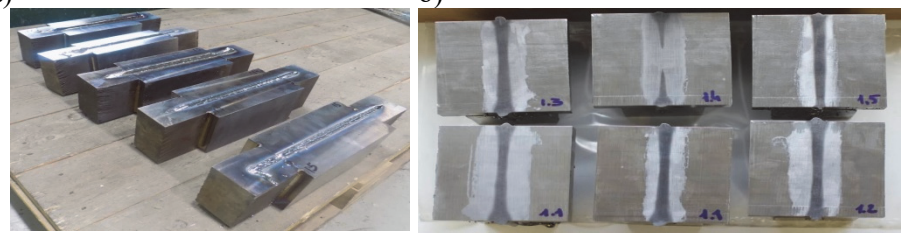
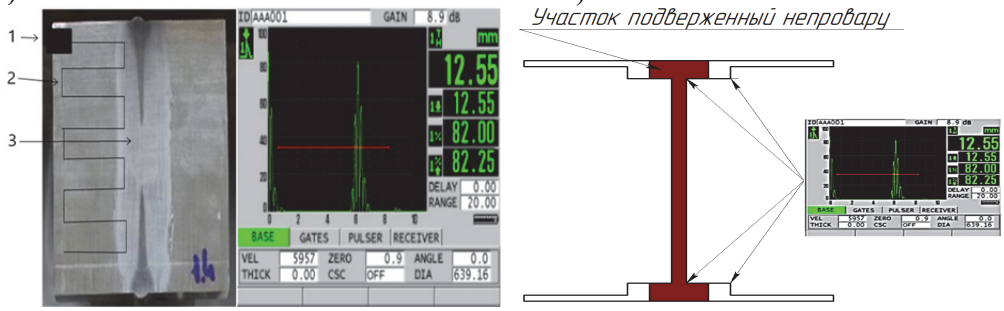


Рисунок 2 – Образцы имитаторы, выполненные электронно-лучевой сваркой:
а – общий вид образцов; б – сечение образцов

Таким образом, в настоящее время существует вероятность образования ошибки при сканировании элемента, так как плоскость непровара совпадает с центральной стенкой элемента.

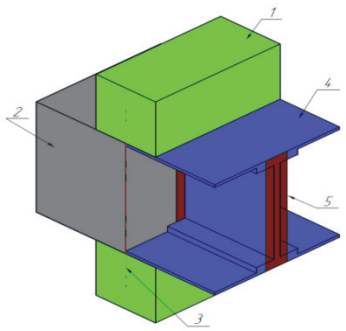
а) б)



1 – совмещенный ПЭП; 2 – траектория движения ПЭП; 3 – сварной шов

Рисунок 3 - Амплитуды эхо–сигналов
а – образца-имитатора 1.4 с непроваром; б – рассматриваемого элемента в сечении

Рассматриваемый в исследовании элемент из сплава ВТ23 представляет собой сечение двутавра. Рассмотрим порядок его изготовления (см. рисунок 4).



1 – вводные/выводные планки; 2 – свариваемый элемент; 3 – ось шва; 4 – элемент после механообработки; 5 – участок с непроваром

Рисунок 4 – Модель, демонстрирующая электронно-лучевую сварку рассматриваемого элемента

Элементы детали варят в кубе (2) с выводными планками (1). После сварки производят фрезерование элемента до требуемой толщины и выполняют разметку оси шва маркером (4), затем высверливают отверстия, а также проводят рентгенографический контроль (РГК). После доработки дефектных участков сварных соединений и повторного рентгенографического контроля выполняется капиллярная дефектоскопия и ультразвуковой контроль (УЗК). Для недопущения ошибок при проведении УЗК рекомендуется проводить контроль непосредственно после сварки - перед проведением РГК.

Невыявление дефекта капиллярной дефектоскопией может быть связано с «зализыванием» несплошностей при формообразовании элемента до требуемых размеров (сечение двутавра) при повышенных режимах резания. Как было показано ранее, после повторной механической обработки сечения шва дефект в виде непровара был выявлен. Для недопущения дальнейших ошибок при выполнении неразрушающего контроля рекомендуется производить травление сварного шва после вырезки вводных и выводных планок, а также про-

изводить УЗК после сварки для выявления дефектов типа «несплавление» и «непровар». Это позволит исключить операцию разметки сварного шва для проведения неразрушающего контроля и исключить ошибку при проведении УЗ контроля. После выполнения операции УЗК выполнить операцию фрезерования и сверления до требуемых размеров детали. Далее выполнить радиографический и капиллярный контроль согласно требованиям нормативно-технической документации, на наличие внутренних несплошностей.

В качестве основных выводов, следует выделить следующее:

- невыявление дефекта рентгенографическим контролем связано с разрешающей способностью метода (0,1 мм);

- невыявление дефекта капиллярной дефектоскопией связано с «зализыванием» несплошностей при формообразовании элемента механической обработкой до требуемых размеров;

- невыявление дефекта ультразвуковым контролем связано с малой площадкой контроля, наличием отверстий и переходом толщин в контролируемом элементе, а также совпадением зоны непровара с плоскостью стенки элемента, что привело к ошибке контроля;

- на ошибку проведения неразрушающих методов контроля оказало влияние наличие разной схемы разметки, а также отсутствие визуализации сварного шва после операции механической обработки;

Для недопущения ошибок при выполнении неразрушающего контроля рекомендуется:

- после операции электронно-лучевой сварки выполнять вырезку вводных и выводных планок с последующим травлением сварного шва для его визуализации на последующих участках контроля;

- выполнять ультразвуковой контроль на наличие дефектов «несплавление» и «непровар» после операций ЭЛС и вырезки вводных и выводных планок;

- после ультразвукового контроля выполнять формообразование элемента до требуемых размеров с высверловкой отверстий и повторным травлением сварного шва;

- рентгенографический и капиллярный контроль выполнять после вышеуказанных операций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Братухин, А. Г. Штамповка, сварка, пайка и термообработка титана и его сплавов в авиастроении / А. Г. Братухин, Ю. Л. Иванов, Б. Н. Марьин. – Москва : Машиностроение, 1997. – 600 с.

2. Электронно-лучевая сварка : монография / Г. М. Младенов, Д. Н. Трушников, В. Я. Беленький, Е. Г. Колева. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 374 с.

3. Григорьев, В. В. Исследование возникновения специфических дефектов электронно-лучевой сварки (ЭЛС) титановых сплавов / В. В. Григорьев, В. И. Муравьев, П. В. Бахматов // Сварочное производство. – 2019. – № 4. – С. 36-42. – EDN BYDRYS.Соловьев, В. А. Ледообразование на линиях электропередач. Причины возникновения. Методы удаления / В. А. Соловьев, С. И. Сухоруков, С. П. Черный. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2018. – 304 с. – ISBN 978-5-8044-1665-3. – EDN QAWSQO.

УДК 620.178.151.6

Лысикова Ирина Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lysikova Irina Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Белова Инна Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Belova Inna Valerievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

METHODS FOR DETERMINING HARDNESS

Аннотация. В данной статье рассмотрены различные методы определения твердости материалов, которые играют ключевую роль в материаловедении и промышленности. Описаны основные методы, такие как Роквелл, Бринелль, Виккерс, каждый из которых имеет свои уникальные особенности, механизмы и области применения. Методы сравниваются по принципу действия, точности и применимости к различным видам материалов. Цель работы — дать представление о существующих методах измерения твердости и их значении для оценки механических свойств материалов.
Abstract. This article discusses various methods for determining the hardness of materials that play a key role in materials science and industry. The main methods such as Rockwell, Brinell, and Vickers are described, each of which has its own unique features, mechanisms, and applications. The methods are compared according to the principle of operation, accuracy and applicability to different types of materials. The purpose of the work is to provide an idea of the existing methods of hardness measurement and their significance for assessing the mechanical properties of materials.
Ключевые слова: твердость, индентор, механические свойства.
Key words: hardness, indenter, mechanical properties.

Определение твердости материалов является важным аспектом материаловедения. Твердость характеризует сопротивление материала деформации под воздействием механических сил [1]. В данной статье рассмотрены основные методы определения твердости.

Метод Роквелла основан на измерении глубины вдавливания индентора в поверхность материала. Существует несколько шкал твердости Роквелла, каждая из которых использует различные нагрузки и индентора [2].

Метод Бринелля включает в себя использование сферического индентора, обычно из стали или карбида вольфрама. После вдавливания индентора в материал измеряется диаметр отпечатка [3].

Метод Виккерса использует пирамидальный индентора с углом 136 градусов. Этот метод позволяет получать высокоточные результаты и подходит для твердых и хрупких материалов [4].

В определении твердости материалов используются различные методы, каждый из которых подходит для конкретных условий и типов материалов. Рассмотрим основные из них. Естественно, до начала измерений твердости следует подготовить образец. Он должен быть гладким и чистым, для определения точного результата. После подготовки образца, помещаем его над индентором с заданной нагрузкой. Далее нагрузку накладывают на определенное время. После того как время действия нагрузки закончилось, индентор удаляется, и на поверхности образца остаётся вмятина.

В таблице 1 представлены материалы и методы измерения твердости, которые использовались для получения значений твердости.

Метод Виккерса используют при испытании твердости деталей мало толщины или тонких поверхностных слоев, имеющие. высокую твердость. Число твердости по Виккерсу - это условное среднее удельное давление на поверхности отпечатка.

Расчет твердости рассчитывается по формуле:

$$HV = \frac{2F*Sin\frac{a}{2}}{d^2} = 1.854\frac{F}{d^2} \quad (1)$$

Этот метод позволяет получать высокоточную оценку твердости различных материалов, включая металлы, сплавы и керамику.

Измерение твёрдости по Бринеллю заключается во вдавливании в поверхность металла специального механического тела-индентора. Для обычных измерений используется стальной шарик, для расчёта твёрдости инструментальных сталей - индикатор из карбида вольфрама.

Расчет твердости рассчитывается по формуле:

$$HB(HBW) = \frac{0.120\text{F}}{\text{A}} = \frac{0.120*2F}{\Pi D(D\sqrt{D^2-d^2})} \quad (2)$$

или

$$\text{HB(HB)} = \frac{2F}{\Pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})} \quad (3)$$

Метод Бринелля особенно эффективен для материалов с невысокой твердостью, а также для тех, которые имеют неоднородную структуру.

Измерение твёрдости по Роквеллу - это метод неразрушающей проверки твёрдости, который основан на измерении глубины проникновения твёрдого наконечника (индентора) в испытуемый образец при приложении одинаковой для каждой шкалы твёрдости нагрузки. Твердость по Роквеллу определяется сразу на аппаратуре и выражается в различных шкалах (например, HRA, HRB, HRC) в зависимости от выбранного индентора и нагрузки.

Метод Роквелла быстро и удобно применять, и он позволяет проводить измерения непосредственно на производственных площадках без необходимости подготовки больших образцов.

Таблица 1 – Исследуемые материалы и их твердость

Материал	Выбранный метод изменения	Условия испытания (индентор; нагрузка, F; время, t)	Размер отпечатка			Твердость			Средние значение твердости
			d1	d2	d3	H1	H2	H3	
Al	HB	Шарик Ø 10 мм; F = 1750 кгс; t = 10-15 сек	3	4	3,3	207	114	170	163,6 HB
Cu	HB	Шарик Ø 10 мм; F = 1750 кгс; t = 10-15 сек	4	5,5	3,9	114	57,9	121	80,3 HB
45	HRC	Алмазный конус; F=150 кгс	-	-	-	21.5	21,5	19,5	62,5 HRC

Определение твердости материалов является важным этапом в их анализе и применении в различных отраслях. Разные методы, такие как Роквелл, Бринелль, Виккерс, имеют свои уникальные преимущества и ограничения. Методы Роквелла и Бринелля чаще используются для металлов, в то время как Виккерс подходит для более разнообразных материалов и отличается высокой точностью. Алюминий имеет низкую твердость по сравнению с медью и сталью. Обычно его твердость в диапазоне 60-150 по шкале Бринелля. Твердость меди несколько выше, чем у алюминия, но ниже, чем у стали. По шкале Бринелля твердость меди составляет около 70-200.

Сталь, в зависимости от легирующих элементов и способа обработки, может иметь высокую твердость. Твердость стали варьируется от 130 до 900 по шкале Бринелле, в зависимости от ее типа. Каждому материалу присущи уникальные свойства, которые делают их подходящими для различных приложений. Выбор материала зависит от требований к прочности, весу и коррозионной стойкости. Выбор метода должен основываться на характеристиках материала, требуемой точности и условиях испытаний. В результате, понимание различных подходов к определению твердости позволяет эффективно оценивать материалы и улучшать качество продукции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гуляев, А. П. Металловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. – 7-е издание переработанное и дополненное. – Москва : Альянс, 2015. – 644 с. – ISBN 978-5-903034-98-7. – EDN XQNAWL.

2. ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86) «Металлы. Метод измерения твёрдости по Роквеллу».
3. ГОСТ 9012-59 — «Металлы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю».
4. ГОСТ 2999–75 «Металлы и сплавы. Метод измерения твёрдости по Виккерсу».

УДК 621.9; 621.791.722; 629.7.023.4
Морозов Никита Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Morozov Nikita Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Григорьев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология сварочного и металлургического производства имени В.И, Муравьева», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Grigorev Vladimir Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department "Technology of Welding and Metallurgical Production named after V.I. Muravyov", Komsomolsk-na-Amure State University

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТЫКУЕМЫХ КРОМОК ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ23 НА ПОРООБРАЗОВАНИЕ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ

THE EFFECT OF MECHANICAL PROCESSING OF THE JOINED EDGES OF THE VT23 TITANIUM ALLOY ON PORE FORMATION IN WELDED JOINTS MADE BY ELECTRON BEAM WELDING

Аннотация. Данная работа направлена на выявление рациональных режимов резания при подготовке кромок титанового сплава ВТ23 под электронно-лучевую сварку с целью минимизации порообразования. По заключению из работы установлено, что наименьшее суммарное количество пор напрямую связано с параметром шероховатости поверхности и рациональными параметрами режима резания для сплава ВТ23 является применение скорости резания 40 м/мин для диаметра фрезы 16 мм и 50 м/мин для диаметра фрезы 32 мм.
Abstract. This work is aimed at identifying rational cutting modes when preparing the edges of the VT23 titanium alloy for electron beam welding in order to minimize pore formation. According to the conclusion of the work, it was found that the smallest total number of pores is directly related to the surface roughness parameter and the rational parameters of the cutting mode for VT23 alloy is the use of a cutting speed of 40 m/min for a milling cutter diameter of 16 mm and 50 m/min for a milling cutter diameter of 32 mm.
Ключевые слова: механическая обработка, порообразование, электронно-лучевая сварка, титановый сплав ВТ23
Key words: mechanical processing, vaporization, electron beam welding, titanium alloy VT23

Титан и титановые сплавы являются перспективным конструкционным материалом для летательных аппаратов (ЛА), превосходя по своим характеристикам высокопрочные алюминиевые сплавы и стали. Их преимущества включают высокую удельную статическую и усталостную прочность, отличные показатели жаростойкости и коррозионной стойкости, а также удовлетворительную свариваемость [1]. Однако при использовании титановых сплавов для создания неразъемных соединений методом сварки плавлением возникает существенная проблема - образование пор в металле шва. Статистические данные показывают, что пористость составляет 48-54% от всех дефектов металла шва в неразъемных соединениях [2-3]. Для проведения исследований использована монолитная фреза диаметром 16 мм и составная диаметром 32 производства СКИФ-ДВ. Далее выполнялось фрезерование пластины из сплава ВТ23 (рисунок 1) с образованием буртиков по режимам, представленным в таблице 1.

а)



б)



Рисунок 1 – Фрезерование буртиков на пластине из сплава ВТ23:
а – диаметром фрезы 32 мм; б – диаметром фрезы 16 мм

Таблица 1 – Режимы механической обработки пластин из сплава ВТ23 и измеренные параметры шероховатости на сформированных буртиках

Номер режима	1	2	3	4	5	6
Сборная фреза диаметром 32 мм						
Скорость резания V, м/мин	25	30	35	40	45	50
Шероховатость Ra, мкм	1,702	1,412	0,865	0,933	0,923	0,384
Монолитная фреза диаметром 16 мм						
Скорость резания V, м/мин	20	25	30	35	40	45
Шероховатость Ra, мкм	0,485	0,450	0,450	0,413	0,360	0,478

Исходя из вышепредставленных результатов распределения параметра шероховатости поверхности, выбраны следующие режимы механической обработки стыкуемых кромок под сварку – режим 5 и 6 для фрез диаметром 16 и 32 мм. Принято решение выполнять механическую обработку собираемых под сварку темплетов на половину его длины для каждого режима резания (см. рисунок 2).

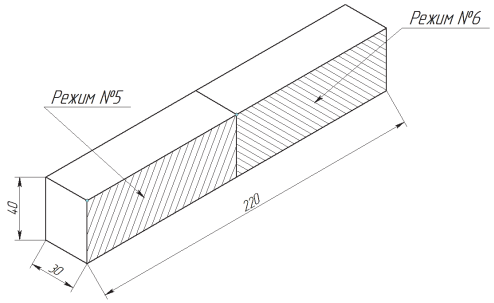


Рисунок 2 - Схема механической обработки стыкуемых кромок собираемых под сварку темплетов

Стыкуемые кромки под электронно-лучевую сварку собирались согласно типовой схеме, представленной на рисунке 3.

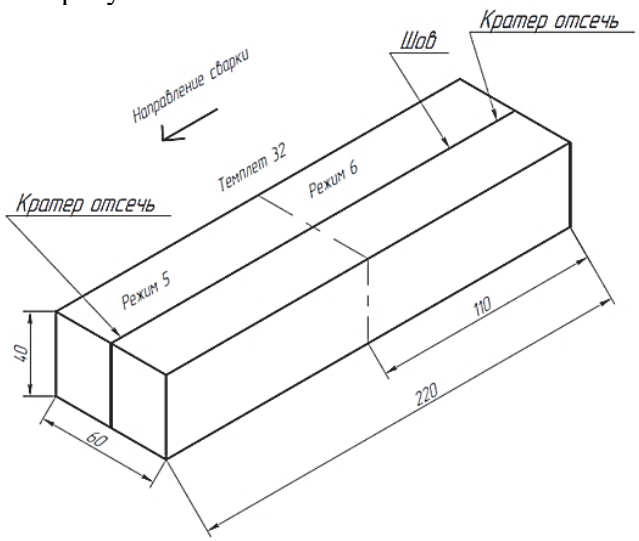


Рисунок 3 - Типовая схема сборки темплета под электронно-лучевую сварку

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) образцов проводилась по следующим режимам сварки на установке КЛ-144:

- ускоряющее напряжение U, кВ – 60;
- ток сварки $I_{св}$, мА – 390;
- ток фокусировки $I_{ср}$, мА – 1230;
- скорость сварки $V_{св}$, мм/с – 12;
- фокусное расстояние 250 мм;

Рабочее давление в камере $1 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.

Электронно-лучевая сварка образцов производилась с использованием вводных и выводных планок для исключения образования кратеров в начале и конце шва.

На рисунке 4 представлены темплеты после сварки. Как видно из рисунка процесс электронно-лучевой сварки являлся нестабильным. На сварном шве видны подрезы и нарушение геометрии ширины шва при формировании сварочной ванны. Обнаруженные дефекты не являются объектом исследования настоящей работы, поэтому не приняты во внимание.



Рисунок 4 – Темплеты после электронно-лучевой сварки

После сварки выполнялся раскрой темплетов для возможности проведения рентгенографического контроля. Результаты неразрушающего контроля приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты рентгенографического контроля

№ образца	Выявленные дефекты	Положение
16.6.1	Пора ø 0,3 мм – 1 шт	Корень
	Пора ø 0,4 мм – 1 шт	Центр
16.6.2	Пора ø 0,2 мм – 1 шт	Корень
16.6.3	Дефекты отсутствуют	
16.6.4	Пора ø 0,1 мм – 1 шт	Корень
16.6.5	Цепочка пор ø от 0,1 мм до 0,3 мм – 5 шт	Корень
16.6.6	Скопление пор ø 0,1 мм – 5 шт	Корень
16.5.1	Единичные поры ø 0,1 мм – 1 шт., ø 0,3 мм – 1 шт	Корень
16.5.2	Дефекты отсутствуют	
16.5.3	Пора ø 0,3 мм – 1 шт.	Центр
16.5.4	Цепочка пор ø 0,2 мм – 3 шт	Корень
16.5.5	Дефекты отсутствуют	
16.5.6	Пора ø 0,2 мм – 1 шт	Центр
32.6.1	Дефекты отсутствуют	
32.6.2	Пора ø 0,3 мм – 1 шт	Центр
32.6.3	Пора ø 0,5 мм – 1 шт	Корень
32.6.4	Дефекты отсутствуют	
32.6.5	Единичные поры ø 0,2 мм – 3 шт	Центр
32.6.6	Единичные поры ø 0,2 мм – 1шт., ø 0,1 мм – 1 шт	Корень

Продолжение таблицы 2

№ образца	Выявленные дефекты	Положение
32.5.1	Пора ø 0,4 мм – 1 шт	Корень
	Пора ø 0,5 мм – 1 шт	Центр
32.5.2	Дефекты отсутствуют	
32.5.3	Пора ø 0,1 мм – 1 шт	Центр
32.5.4	Дефекты отсутствуют	
32.5.5	Поры ø 0,1 мм – 2 шт	Центр
32.5.6	Скопление пор ø 0,1 мм – 3 шт	Корень

Преимущественно поры расположены в корневой и центральной части шва. Поры в усилении шва отсутствуют, что связано с быстропротекающими процессами кристаллизации при ЭЛС. В связи, с чем готовые зародыши пор не успели коалесцировать.

Ниже представлена информация по суммарному количество пор и их максимальному диаметру, а также не выявленных дефектов в образцах, где первая цифра диаметр фрезы, а вторая режим резания:

- 16.6 – 14 пор, максимальный диаметр 0,4 мм, не выявлено дефектов 1;
- 16.5 – 6 пор, максимальный диаметр 0,3 мм, не выявлено дефектов 2;
- 32.6 – 6 пор, максимальный диаметр 0,5 мм, не выявлено дефектов 2;
- 32.5 – 8 пор, максимальный диаметр 0,5 мм, не выявлено дефектов 2.

Исходя из полученных результатов и сравнивая их с показателями шероховатости, можно сделать вывод, что наименьшее суммарное количество пор напрямую связано с параметром шероховатости поверхности и рациональными параметрами режима резания для сплава ВТ23, обеспечивающие наименьшее количество пор являются режимы:

- при использовании монолитной фрезы диаметром 16 мм – режим №5;
- при использовании сборной фрезы диаметром 32 мм – режим №6.

Для получения более достоверных результатов в будущем рекомендуется выполнить оценку насыщенности капиллярно-конденсированными загрязнениями на установке ИСП-51 в соответствии с ОСТ 1 90034-81.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Обеспечение надежности конструкций из титановых сплавов / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, Б. И. Долотов [и др.]. – Москва : Москва: "Эком", 2009. – 725 с.

2. Пористость при сварке цветных металлов / В. В. Редчиц, В. А. Фролов, В. А. Казаков, В. И. Лукин. – Москва : Издательский центр "Технология машиностроения", 2002. – 448 с.

3. Влияние активации свариваемых кромок на порообразование при сварке плавлением титановых заготовок / В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, О. П. Логвинов, К. А. Мелкоступов // Сварочное производство. – 2012. – № 6. – С. 11-16.

УДК 669.213

Морозова Татьяна Дмитриевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Morozova Tatiana Dmitrievna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Шакирова Ольга Григорьевна, доктор химических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия и химическая технология», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shakirova Olga Grigorievna, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department “Chemistry and Chemical Technologies”, Komsomolsk-na-Amure State University

ПЕРЕРАБОТКА ХВОСТОВ СОРБЦИОННОГО ЦИАНИРОВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ

PROCESSING OF TAILINGS OF GOLD-BEARING CONCENTRATES AFTER SORPTION CYANIDATION

Аннотация. В данной работе описана последовательность процессов, способствующих извлечению золота из хвостов сорбционного цианирования концентратов, спроектирована технологическая схема, включающая в себя печи обжига, автоклав, экстрактор, электрофильтр, электролизёр, мельницы сверхтонкого помола, фильтр-прессы и сорбцию углём, позволяющая повысить доизвлечение на 70 %, а также обоснована эффективность извлечения остаточных веществ.
Abstract. This project describes the sequence of processes contributing to the retrieval of gold from the tailings of concentrates after sorption cyanidation. The technological scheme is designed that includes kilns, an autoclave, an extractor, an electrofilter, an electrolyzer, ultrafine grinding mills, filter-presses and coal sorption, which makes it possible to increase the recovery by 70%, and the efficiency of extraction of residual substances.
Ключевые слова: хвосты цианирования, печи обжига, автоклав, экстрактор, электролизёр, мельницы сверхтонкого помола, фильтр-прессы.
Key words: cyanidation tailings, kilns, autoclave, extractor, electrolyzer, superfine grinding mills, filter-presses.

Отходы горно-металлургического производства содержат значительное количество цветных, черных, благородных, редких и рассеянных металлов и представляют собой техногенное сырье, которое складируется и накапливается из-за отсутствия экономичных и экологически чистых технологий по их переработке и утилизации.

Следует отметить, что отходы, являясь мощным источником загрязнения окружающей среды, представляют собой ценное сырье для промышленности.

Снижение вредного воздействия производства может быть достигнуто за счёт улучшения способа извлечения остаточного материала. Содержание 2,5-5,5 г/т Au позволяет считать переработку рентабельной. Однако в зависимости от места переработки концентратов существенно изменяются капитальные и эксплуатационные расходы (в среднем, на зарплату отведено ~5 % от общей стоимости переработки, а на материалы ~45 %). Наиболее перспективными методами переработки хвостов сорбционного цианирования золотосодержащих концентратов являются схемы с использованием тонкого доизмельчения с последующим цианированием или хлоридовозгонка [1-5].

Экопроект подразумевает совместную переработку золотосодержащих отвалов Амурского гидрометаллургического комбината и невостребованной серы Комсомольского нефтеперерабатывающего завода. Состав промпродукта Амурского гидрометаллургического комбината представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Массовая доля веществ в хвосты сорбционного цианирования

Au, г/т	S, %	As, %	Sb, %	Fe, %	Ca, %	SiO_2, %	Al_2O_3, %	Bi, %	Cu, %	Ni, %	Zn, %
2,5-5,5	2,0-5,5	1,6-3,0	0,5-1,0	43-52	8,6-12,0	10-12	2,0-3,9	до 0,003	до 0,067	до 0,005	до 0,012

Стоит отметить, что кальций находится в форме скородита, оксида, гипса, карбонатов; железо в форме оксида, остаточных сульфидов, сульфосолей, ярозита; сера в виде остаточных сульфидов, сульфатов кальция и железа; мышьяк в виде скородита, двойных оксидов с железом, с кальцием, с натрием; остатков арсенопирита; сурьма в форме оксида, остатков антимонита, двойных оксидов с железом, кальцием, натрием; Al_2O_3 в форме гидратированных алюмосиликатов в комплексе с кальцием и щелочными металлами; цветные металлы в виде оксидов.

Предлагаемая схема (рисунок 1) включает использование печи для обжига, экстрактора, автоклава, электрофильтров, электролизёра, мельницы сверхтонкого помола и фильтр-прессов. На первой стадии проводится обжиг концентрата с добавками соды (2-3% от массы сухой руды), серы (2-3 % от массы сухой руды) и хлоридов щелочных или щелочноземельных металлов (1,0 % от массы сухой руды) в присутствии водяного пара. При последующем выщелачивании сплава горячей водой мышьяк и сурьма переходят в водную

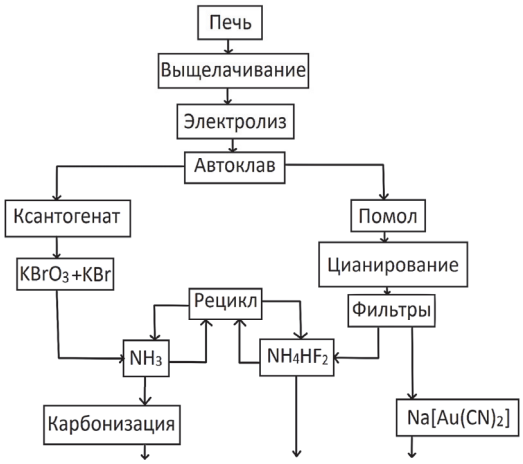


Рисунок 1 – Технологическая схема

вытяжку в виде тиосоединений, которые можно выделять из растворов методами селективной экстракции.

При этом медь, никель, цинк, висмут остаются в осадке в виде сульфидов, железо, кремний и алюминий в виде нерастворимых оксидов, кальций в форме гипса, а золото в виде нано-вкраплений. Затем осадок переносят в чан, где проводят сернокислотное выщелачивание никеля. Далее никель возможно извлекать из раствора электролизом. Серную кислоту можно получать из оксида серы(IV) после печи обжига.

При последующем автоклавном окислении и растворении медь, цинк, висмут, железо и алюминий переходят в сульфатную (растворимую) форму. Фильтрацию предлагаем проводить на электрофильтрах. Медь из кислых растворов целесообразно извлекать не цементацией, а клинкером, содержащим сульфгидрильный собиратель, например ксантогенат. Ксантогенат прочно закрепляется на поверхности частиц клинкера, и, в силу большей прочности связи ксантат-иона с медью, последняя вытесняет железо из поверхностного соединения. Осаждение висмута можно проводить бромат-бромидом калия в виде бромоокиси с последующем отфильтровыванием. Дальнейшее получение висмута высокой чистоты основано на методах гидрометаллургического рафинирования, зонной плавки и двухстадийной перегонки. Количественное извлечение железа из раствора для получения гематита можно проводить аммиаком. Путем выпаривания раствора можно создать рецикл аммиака или дополнительно получать селитру.

Карбонизация оставшегося аммиачного раствора приводит к осаждению гидроксидов цинка и алюминия. Осадок обжигают, подвергают спеканию, а затем восстанавливают углём или коксом при 1200-1300 °С. Полученный цинк пригодится для восстановления благородных металлов, а невосстанавливающийся углеродом оксид алюминия можно использовать для получения искусственных корунда/рубина/сапфира, огнеупорной керамики, в качестве носителя катализаторов, сырья для производства смешанных катализаторов и др. Вернёмся к осадку оксида кремния, сульфата кальция и золота в виде нано-вкраплений. Задачей является дополнительное извлечение золота из хвостов цианирования в товарную продукцию за счет двух процессов:

а) применения сверхтонкого помола для повышения извлечения золота;

б) снижения сорбционной активности твердой фазы путем повышения температуры пульпы.

Силикатный кек сернокислотной разварки обрабатывают водным раствором фторида аммония NH_4HF_2 и из фильтрата путем обработки его аммиаком выделяют двуокись кремния SiO_2 (Путем горячей водной промывки и высокотемпературной сушки из двуокиси кремния можно получать дорогостоящий АЭРОСИЛ с содержанием SiO_2 99,9 %). При этом из маточных растворов осаждения регенерируют бифторид аммония NH_4HF_2, а из паровой фазы сушки конденсируют NH_4OH.

Оставшийся технический гипс (с примесями кремнезёма) можно использовать для армирования грунтов в дорожном строительстве.

Техническим результатом экопроекта является создание экологически безопасного процесса комплексной переработки хвостов сорбционного цианирования золотосодержащих концентратов. Доизвлечение золота становиться эффективнее почти на 70 % при снижении его количества в хвостах до 1,6 г Au на тонну отвальных отходов. Грамотное извлечение всех веществ и их полезное использование положительно скажется на экономике и экологии. Полученные добавочные вещества будут востребованы в промышленной электронике и ядерной энергетике, алюмосиликаты и гипс в строительстве, производстве и медицине.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Переработка хвостов обогащения золотосодержащей руды гидрометаллургическими методами / П. К. Федотов, А. Е. Сенченко, К. В. Федотов, А. Е. Бурдонов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 4. – С. 293-304. – EDN ZPKFUP.

2. Доизвлечение золота из отходов переработки золотосодержащих руд Казахстана / М. Б. Ерденова, А. К. Койжанова, Э. М. Камалов [и др.] // Комплексное использование минерального сырья. – 2018. – № 2(305). – С. 12-20. – DOI 10.31643/2018/6445.2. – EDN MAJRJR.

3. Сравнительное изучение эффективности способов извлечения золота из техногенных хвостов флотации / Н. С. Бектурганов, Г. А. Арыстанова, А. К. Койжанова, М. Б. Ерденова // Цветные металлы. – 2016. – № 10(886). – С. 69-72. – DOI 10.17580/tsm.2016.10.10. – EDN YGJPOV.

4. Патент № 2633807 C Российская Федерация, МПК C22B 11/06, C22B 7/04. Способ комплексного извлечения ценных металлов из хвостов : № 2016147212 : заявл. 01.12.2016 : опубл. 18.10.2017 / Ц. Го, И. Юй, М. Чжан ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "ПЕТРО-ХЭХУА". – EDN QFJBBI.

5. Патент № 2493277 C1 Российская Федерация, МПК C22B 11/08, C22B 3/20. Способ извлечения золота из хвостов цианирования углистых сорбционно-активных руд и продуктов обогащения : № 2012103421/02 : заявл. 01.02.2012 : опубл. 20.09.2013 / В. М. Муллов, А. В. Бывальцев, О. Д. Хмельницкая ; заявитель Открытое акционерное общество "Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов" (ОАО "Иргиредмет"). – EDN WCRSCL.

УДК 629.5.018.2

Намоконов Александр Николаевич, аспирант Комсомольского-на-Амуре государственного университета

Namokonov Alexander Nikolaevich, postgraduate student of Komsomolsk-na-Amure State University

Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, профессор кафедры СиА, Комсомольского-на-Амуре государственного университета

Sysoev Oleg Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of SiA, Komsomolsk-na-Amure State University

ВЫБОР И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

SELECTION AND ANALYSIS OF MODERN INSTALLATIONS FOR STUDYING DAMPING PROPERTIES OF MATERIALS

Аннотация. В данной работе рассматриваются современные установки для исследования демпфирующих свойства материала, а именно Виброметр HSV – 100 и Триангуляционный лазерный датчик РФ 603. Эти установки предназначены для проведения точных испытаний материалов при воздействии динамических нагрузок, что позволяет определить коэффициент демпфирования и характеристики вибрационного поглощения. Полученные результаты с данных приборов могут быть использованы для разработки новых материалов с улучшенными механическими и вибрационными свойствами, что имеет важное значение для таких отраслей, как авиационная промышленность, строительные конструкции, автомобилестроение и другие сферы.

Abstract. This paper considers modern installations for the study of damping properties of materials, namely Vibrometer HSV - 100 and Triangulation laser sensor RF 603. These installations are designed to carry out accurate tests of materials under dynamic loads, which allows to determine the damping coefficient and characteristics of vibration absorption. The results obtained from these devices can be used to develop new materials with improved mechanical and vibration

properties, which is important for such industries as aviation industry, building structures, automotive industry and other spheres.
Ключевые слова: демпфирующие свойства, вибрация, эффект доплера, лазер, колебания,
Key words: damping properties, vibration, doppler effect, laser, vibrations

Современные методы оценки демпфирующих свойств включают использование специализированных установок, которые позволяют точно измерять поведение материалов при воздействии колебаний и вибраций. В данной работе рассмотрены установки HSV-100 и РФ 603, предназначенные для проведения высокоточных экспериментов по определению демпфирующих характеристик материалов в различных условиях эксплуатации. Эти установки обеспечивают возможность проведения измерений в широком диапазоне частот и амплитуд. Для исследования демпфирующих свойства материала были выбраны две установки такие как Polytec HSV-100 и РФ 603. Основные характеристики данных приборов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение характеристик Polytec HSV-100 и РФ 603

Характеристика	Polytec HSV-100	РФ 603
Страна производства	Германия	Россия
Метод измерений	Лазерная доплеровская виброметрия	метод лазерной триангуляции
Диапазон измерения	Виброскорость: 1×10^{-4} до 1 м/с; Виброперемещение: 1×10^{-6} до 0,25 м.	от 1×10^{-5} до 0,1 м/с от 1×10^{-4} до 0,01 м.
Частотный диапазон	$1 \dots 10^5$ кГц.	$1 \dots 10^3$ кГц.(ограничен резонансными частотами образца)
Точность измерения частоты	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.5\%$
Применение в инженерии	Анализ демпфирования материалов (влияние свойств на затухание колебаний), Диагностика вибраций роторных механизмов	Измерение толщины металлических и пластиковых листов, Контроль вибраций и перемещений деталей.

Виброметр Polytec HSV-100

Виброметр Polytec HSV-100 предназначен для измерений виброскорости и виброперемещения. Принцип работы виброметра основан на эффекте Доплера, который заключается в изменении частоты оптического (лазерного) излучения, отраженного от движущегося объекта [1]. Разность частот между излученным и отраженным оптическими сигналами пропорциональна мгновенной виброскорости, а разность фаз - пропорциональна мгновенному виброперемещению объекта. На рисунке 1 приведено изображение виброметра. Конструктивно виброметр состоит из сенсорной головки (рисунок 1, а), лазерного модуля HSV-100 (рисунок 1, б) и одно- или двухканального контроллера (рисунок 1, в). Лазерный модуль содержит модуль оптического детектора с гелий-неоновым лазером с длиной волны 633нм. Отраженный от объекта измерения лазерный луч попадает на оптический детектор, который преобразует оптический сигнал в электрический. Поступающий с модуля оптического детектора электрический сигнал обрабатывает контроллер. Результат измерения отображается, посредством программного обеспечения.

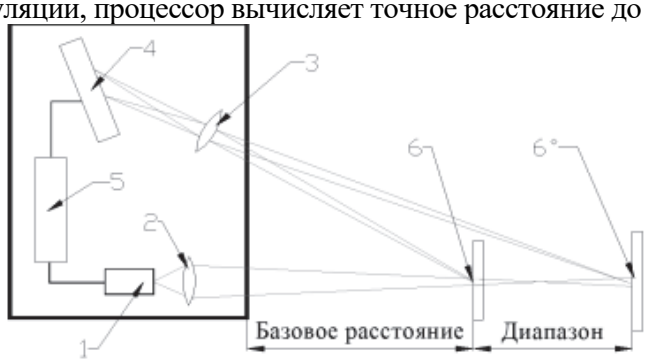


Рисунок 1 – Внешний вид виброметра, с контролером (а),
сенсорной головкой (б), и лазерным модулем (в)

Основные особенности этой установки заключаются в следующем: Благодаря лазерной технологии измерения происходят без контакта с исследуемым материалом, что исключает влияние установки на результаты измерений и повышает точность данных. Обеспечивает возможность работы в различных диапазонах частот, что важно для исследования материалов, которые подвергаются различным типам вибраций. Лазерная виброметрия позволяет достичь максимальной точности в измерениях амплитуд и частот, что особенно важно при оценке демпфирующих свойств материалов[2].

Триангуляционный лазерный датчик РФ 603

РФ 603 — это российская установка, предназначенная для измерения динамических характеристик материалов, в том числе их демпфирования. работает на основе метода лазерной триангуляции, который позволяет измерять расстояние до объекта с высокой точностью. Триангуляционные лазерные датчики предназначены для бесконтактного измерения и контроля положения, перемещения, размеров, профиля поверхности, деформаций, вибраций, сортировки, распознавания технологических объектов, измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов. Этапы работы датчика показаны на рисунке 2. Полупроводниковый лазер (1) испускает узкий лазерный луч. Луч фокусируется объективом (2) и направляется на поверхность измеряемого объекта (6). Часть лазерного излучения рассеивается на поверхности объекта. Отражённый свет улавливается объективом (3), который фокусирует его на линейке cmos-датчика (4). Если объект перемещается, положение светового пятна на cmos-линейке (4) также изменяется. Процессор сигналов (5) анализирует положение светового пятна на линейке. Используя метод триангуляции, процессор вычисляет точное расстояние до объекта[3].



1 – лазерный излучатель; 2 – зеркало или призма; 3 - объектив(линза); 4 – сенсор (CMOS матрица); 5 – электронный модуль обработки данных; 6 - объект измерения

Рисунок 2 – принцип работы триангуляционного лазерного датчика РФ 603

Сравнительный анализ

При выборе между Polytec HSV-100 и РФ603 для исследования демпфирующих свойств материалов следует учитывать следующие аспекты:

Принцип измерения: HSV-100 использует лазерный доплеровский метод для бесконтактного измерения вибраций, тогда как РФ603 основан на оптической триангуляции для измерения линейных перемещений. Диапазон измерений: HSV-100 способен измерять вибрационные скорости до 40 м/с, что делает его подходящим для высокоскоростных приложений. РФ603 предназначен для измерения линейных перемещений в диапазоне от 2 до

750 мм, что более ограничено по сравнению с HSV-100. Применение: HSV-100 широко используется для анализа динамики клапанных механизмов, исследования ударной прочности материалов и других высокоскоростных вибрационных приложений. РФ603 применяется для измерения линейных перемещений, что может быть менее релевантно для оценки демпфирующих свойств материалов.

Выбор между этими приборами зависит от того, насколько специализированными и узкой является поставленная задача, а также от требований к экспериментам, которые планируется провести. Если основной целью является исследование демпфирующих свойств материалов с точными измерениями в широком диапазоне частот, то hsv-100 будет лучшим выбором. Если необходимо исследовать более широкий спектр свойств материалов, включая статические и динамические нагрузки, а также влияние внешних факторов, то датчик рф 603 будет более подходящим вариантом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мин, К. К. Методология исследований колебаний конструкций с помощью лазерного виброметра / К. К. Мин, Н. А. Тарануха // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 3 ч., Комсомольск-на-Амуре, 06–10 апреля 2020 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – С. 421-424. – EDN AWGKFL.

2. Мин, К. К. Исследование применения лазерного виброметра (Polytec HSV-2000 High Speed laser Vibrometer) в инженерной сфере / К. К. Мин, Н. А. Тарануха // Актуальные проблемы информационно-телекоммуникационных технологий и математического моделирования в современной науке и промышленности : Материалы I Международной научно-практической конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 20–25 марта 2021 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 90-94. – EDN UNQZAV.

3. Разработка цифровой системы управления частотной подставкой лазерного гироскопа / Н. А. Калинин, В. Ю. Мишин, В. В. Климаков, А. Е. Серебряков // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2021 : Сборник трудов IV Международного научно-технического форума: в 10 т., Рязань, 03–05 марта 2021 года. Том 2. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф.Уткина, 2021. – С. 11-14. – EDN KTRITD.

УДК 621.9.05

Орлова Лилия Владимировна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Orlova Lilia Vladimirovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Щелкунов Евгений Борисович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Schelkunov Evgeniy Borisovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

ANALYSIS OF CNC MACHINING STRATEGIES

Аннотация. В работе проведен сравнительный анализ двух вариантов стратегий механической обработки типовых поверхностей на примере детали «Каретка». Показано, что за счет оптимального выбора направления, траектории и последовательности движений инструмента относительно обрабатываемых поверхностей заготовки при обработке на станках с ЧПУ можно добиться существенного сокращения числа холостых перемещений, а, следовательно, и времени выполнения технологической операции.

Annotation. The paper presents a comparative analysis of two variants of strategies for mechanical processing of typical surfaces using the example of the "Carriage" part. It is shown that by optimally selecting the direction, trajectory and sequence of tool movements relative to the workpiece surfaces being processed during processing on CNC machines, it is possible to achieve a significant reduction in the number of idle movements, and, consequently, the time required to perform the technological operation.
Ключевые слова: шаблон резания, стратегии обработки, обработка, траектория движения инструмента, поверхность.
Keywords: cutting pattern, machining strategies, machining, tool path, surface.

В настоящее время на промышленных предприятиях большое внимание уделяется повышению производительности изготовления продукции. Одним из наиболее трудоемких этапов изготовления продукции является механическая обработка, применяемая практически во всех технологических процессах изготовления деталей. Добиться повышения производительности механической обработки за счет сокращения основного и вспомогательного времени выполнения технологических операций [1, 2]. Сокращения основного времени добиваются путем интенсификации съема материала заготовки за счет повышения значений скоростей резания и подач. Как правило, для этого необходимо внедрение в производство нового более производительного станочного оборудования и инструмента. Сокращения вспомогательного времени достигают за счет сокращения времени вспомогательных переходов и сокращения холостых ходов. Эффективным решением задачи сокращения вспомогательного времени при изготовлении деталей на станках с ЧПУ является применение оптимальной для обработки каждого конкретного элемента детали стратегии, т.е. направления, траектории и последовательности движений инструмента [3, 4, 5]. В работе проведен анализ возможных стратегий обработки типовых поверхностей на примере детали «Каретка» с целью выбора наиболее производительной. На рисунке 1 показана деталь «Каретка» с заданными поверхностями для обработки: плоскость и элементы проушин. Указанные поверхности часто встречаются на различных деталях, а потому могут считаться типовыми.



Рисунок 1 – Обрабатываемая деталь «Каретка»

Рассмотрим два варианта стратегии обработки указанных поверхностей на фрезерном станке с ЧПУ: обработка верхней поверхности детали с парой проушин (поверхность 1); обработка паза предварительно и окончательно (поверхность 2).

Обработка проводится фрезерованием в следующей последовательности:

1. черновая обработка наружных поверхностей проушин, обработка плоскости в номинал;
2. доработка внутренних поверхностей проушин;
3. окончательная обработка радиусов проушин.

Для обоих вариантов стратегий обработки поверхности 1 были выбраны одни и те же фрезы.

На рисунке 2 приведены сгенерированные траектории для первого варианта обработки указанных поверхностей:

- для предварительной и окончательной обработки плоскости и боковых поверхностей элементов проушин выбран шаблон резания «Вдоль детали», фрезерование попутное, отвод инструмента по дуге (рисунок 2 а, б);

- для обработки наружных радиусов проушин (рисунок 2, в) выбран метод управления «Площадь поверхности» с шаблоном резания «Зиг». Врезания отводы выполнены по дуге. Как видно на рисунке, при таком выборе шаблонов резания получается большое количество вырезаний, отводов и холостых перемещений. Суммарное расчетное время обработки составляет 110 минут.

Рассмотрим второй вариант выбора стратегии обработки.

а) б) в)

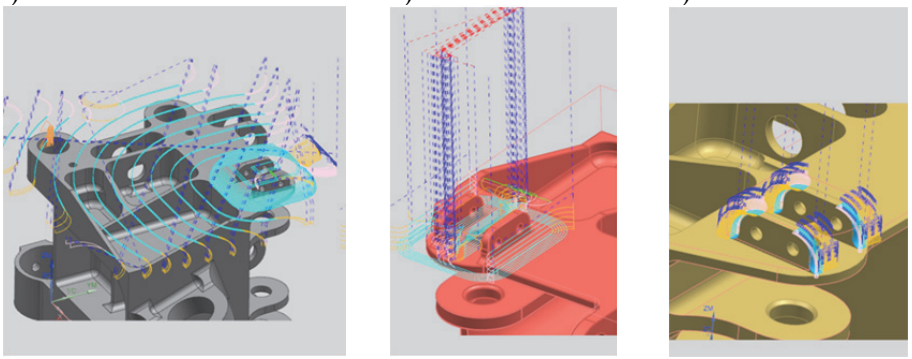


Рисунок 2 – Сгенерированные траектории для первого варианта стратегии обработки: а) послойная обработка плоскости поверхности и внутренних поверхностей проушин; б) доработка проушин; в) чистовая обработка радиусов проушин

На рисунке 3 приведены траектории, сгенерированные с учетом изменения стратегий обработки заданных поверхностей:

- для черновой обработки плоской поверхности детали и внутренних поверхностей проушин (рисунок 3, а) выбран шаблон резания на «Вдоль периферии». В параметрах резания во вкладке «Стратегия» задано направление шаблона «Внутрь», заданы углы сглаживания;

- для обработки внутренних поверхностей проушин выбрано плоское фрезерование. Шаблон резания - «Профиль». Тип врезания и отвод инструмента «Линейный», тип перехода «По прямой»;

- для обработки наружных радиусов проушин тип врезания «Дуги» заменен на сглаживание (рисунок 3, в).

а) б) в)

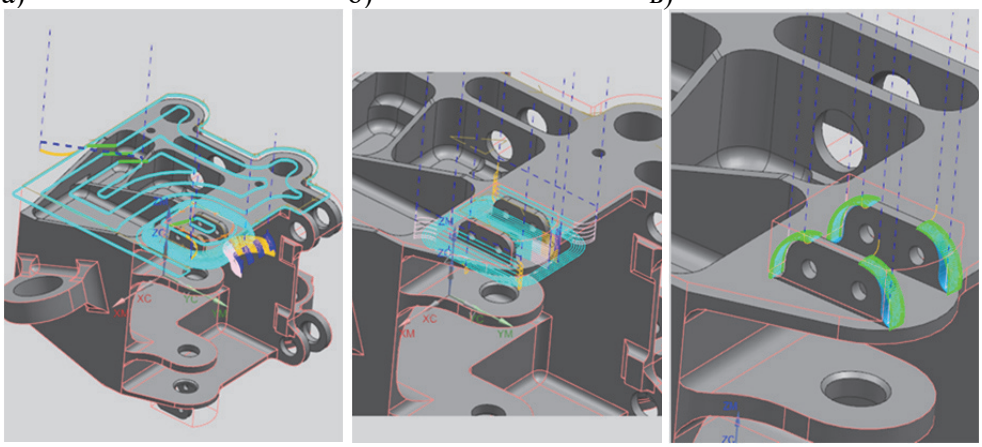


Рисунок 3 – Сгенерированные траектории для второго варианта стратегии обработки: а) послойная обработка плоскости поверхности и внутренних поверхностей проушин; б) доработка проушин; в) чистовая обработка радиусов проушин

В результате смены шаблона резания, уменьшилось количество врезаний, отводов, подъемов и переходов инструмента. За счет сглаживания углов получилась плавная траектория движения инструмента, что положительно сказывается на работе инструмента. Сум-

марное расчетное время обработки уменьшилось до 80 минут. В работе проведен сравнительный анализ двух вариантов стратегий механической обработки типовых поверхностей на примере детали «Каретка». Показано, что за счет оптимального выбора направления, траектории и последовательности движений инструмента относительно обрабатываемых поверхностей заготовки при обработке на станках с ЧПУ можно добиться существенного сокращения числа холостых перемещений, а, следовательно, и времени выполнения технологической операции. У рассмотренных вариантов стратегий суммарное время обработки отличается почти на 30%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Орлов, А. А. Анализ влияния режима резания на состояние заготовки в процессе обработки / А. А. Орлов, Р. С. Махкамов, Е. Б. Щелкунов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10– 14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 83-86. – EDN FKVDRA.

2. Пинчук, С. А. Автоматизированное написание управляющих программ для фрезерных станков с числовым программным управлением с помощью сам Mill-приложения к КОМПАС-3DV19 / С. А. Пинчук // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: Материалы XXIII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 частях, Гомель, 27–28 апреля 2023 года. – Гомель: Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, 2023. – С. 76-79. – EDN FDKRQT.

3. Ловыгин, А. А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система / Ловыгин А. А. , Теверовский Л. В. - Москва : ДМК Пресс, 2015. - 280 с. - ISBN 978-5-97060-123-5. - Текст : электронный // URL : https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970601235.html (дата обращения: 14.04.2025). - Режим доступа : по подписке.

4. Лаврик, В. А. Анализ стратегий обработки прямоугольных карманов / В. А. Лаврик, А. И. Пронин // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 63-66. – EDN VELEPU.

5. Щелкунов, Е. Б. Выбор оптимальной стратегии обработки корпусной детали с помощью CAD/CAM-систем / Е. Б. Щелкунов, Р. С. Карпов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 14–18 ноября 2022 года / Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 192-194. – EDN CYVFUM.

УДК 621.78

Поправко Даниил Геннадьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Popravko Daniil Gennadevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Григорьев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология сварочного и металлургического производства имени В.И, Муравьева», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grigorev Vladimir Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department "Technology of Welding and Metallurgical Production named after V.I. Muravyov", Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗНОВИДНОСТЬ СПОСОБОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ УПРОЧНЯЕМЫХ И НЕУПРОЧНЯЕМЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ

A VARIETY OF METHODS FOR HEAT TREATMENT OF WELDED JOINTS OF HARDENED AND NON-HARDENED TITANIUM ALLOYS MADE BY ELECTRON BEAM WELDING

Аннотация. В данной статье были представлены существующие на сегодняшний день популярные методы проведения термической обработки сварных соединений титановых сплавов, в том числе с возможностью термоупрочнения, указаны их достоинства и недостатки, а также предполагаемые дальнейшие шаги для продолжения исследования влияния на свойства и структуру сварного соединения данных способов термической обработки.
Abstract. This article presents the currently popular methods of heat treatment of welded joints of titanium alloys, including those with the possibility of thermal hardening, their advantages and disadvantages, as well as proposed further steps to continue the study of the effect of these heat treatment methods on the properties and structure of the welded joint.
Ключевые слова: закалка, отжиг, термическая обработка, свойства, титан, вакуум
Key words: quenching, annealing, heat treatment, properties, titanium, vacuum

На сегодняшний день в авиастроении активно используются сварные конструкции для сборки летательных аппаратов. К таким конструкциям предъявляются повышенные требования механических свойств и долговечности. Сварные конструкции позволяют эффективно снижать массу изделия за счет отсутствия крепежных элементов. Для создания надежной и долговечной конструкции все чаще используются титановые сплавы. Титановые сплавы можно разделить на упрочняемые термической и не упрочняемые. К упрочняемым сплавам относятся такие сплавы, как ВТ3-1, ВТ6ч, ВТ16, ВТ22, ВТ23 и т.д. Существенную роль для получения качественного изделия после сварки оказывает термическая обработка, позволяющая провести релаксацию напряжений в зоне сварки и ЗТВ, стабилизировать закалочную структуру сварного соединения и сблизить ее со структурой основного материала. В данный момент существует множество способов и режимов проведения термической обработки сварных соединений из титановых сплавов после сварки, имеющих свои достоинства и недостатки, а также активно ведется исследование и разработка новых методов проведения термической обработки.

Титановые сплавы со способностью термоупрочнения позволяют получить после термической обработки высокие эксплуатационные характеристики, их термообработка проходит в 2 этапа – закалка и последующее старение. Такой вид термообработки проводится только в том случае, если деталь в процессе производства не подвергается сварке. В случае с элементами, подвергающимся сварочным операциям, на предварительном этапе упрочняемые титановые сплавы проходят закалку при температурах около 800 ^{o}C, время выдержки в данном случае зависит от толщины заготовки. После механической обработки и сварки элементов, проводят неполный отжиг в среде вакуума при температурах около 650 ^{o}C в течении 2 часов и последующее старение при температурах около 500 ^{o}C в течении 5-10 часов. Среда вакуума необходима для исключения образований окалины и альфированного слоя на поверхности детали, не имеющей припуска на снятие газонасыщенного слоя. Данный способ эффективен и активно применяется на одном из ведущих предприятий ПАО «ОАК» и позволяет добиться однородной структуры и выравнивания механических свойств по всему сечению детали, но главным недостатком данного способа является большая трудоемкость, полный цикл данного вида термообработки после сварки может занимать до 2 суток. Следующий способ термической обработки заключается в проведении полного отжига в течении 3 часов в воздушной среде при температурах, находящихся около температуры полиморфного превращения (для ВТ23 температура начала фазового превращения 890 ^{o}C) с охлаждением на воздухе и последующим старением при температуре около 600 ^{o}C в течении 4 часов с последующим охлаждением на воздухе, позволяет приблизить структуру зерен сварного шва и зоны термического влияния к структуре основного металла. Основное отличие заключается в наличии в области сварного шва и зоны термического влияния «α-оторочки» по границам исходных β-зерен (рисунок 1), устранить которую в процессе термической обработки невозможно.

О формировании однородной структуры по сечению сварного соединения свидетельствует и небольшое различие в значениях твердости сварного шва и основного металла (1–2 HRC). Следует отметить, что повышение на 30°С (до 860°С) температуры нагрева увеличивает на 10% количество β-фазы в структуре (до 50%). Охлаждение на воздухе с 860°С позволяет получить метастабильную структуру, содержащую ~50% β-фазы. В процессе последующего старения при температуре 625°С происходит распад β-фазы и значительное упрочнение материала. Последующее старение при 625°С приводит к увеличению значений прочности, относительного удлинения и ударной вязкости.

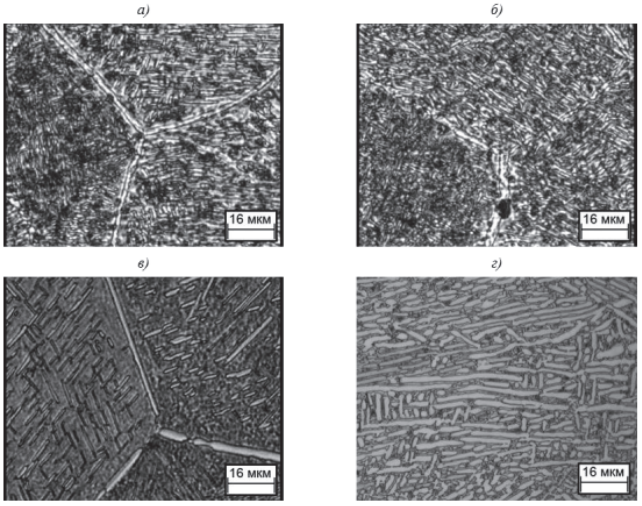


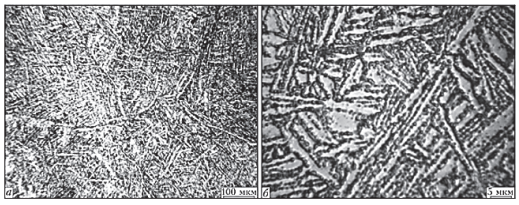
Рисунок 1 - Микроструктуры сварного шва (а, в)
и основного металла (б, г) образцов из сплава ВТ23

Однако сложные сварные конструкции в ряде случаев невозможно подвергнуть очистке газонасыщенного слоя и окалины последующей после термической обработки в виду отсутствия технологического припуска. Такие сварные конструкции необходимо обрабатывать в вакуумных печах или в печах с защитной атмосферой, скорость охлаждения в которых значительно ниже, чем на воздухе [1].

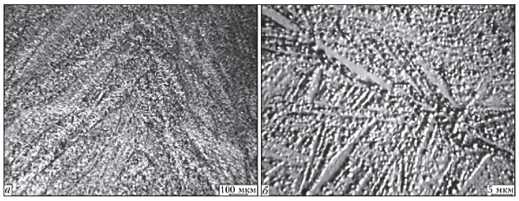
Также, существует метод локальной термической обработки (ЛТО) сфокусированным лучом с помощью электронно-лучевой установки (ЭЛУ) сразу после сварки с предварительным подогревом до 200-300 °С, который приводит к обеспечению более плавного перепада температур при сварке, позволяющим получить более удовлетворительные свойства пластичности после сварки, предотвращая охрупчивание сварного соединения. После получения сварных соединений проведение локального отжига при температуре около 900 °С в течение 10 мин макроструктура сварного соединения после ЛТО остается неизменной (см. рисунок 2).

Трещин в сварных соединениях металлографическим и рентгенографическим контролями обнаружено не было, так как ЛТО способствовала снятию сварочных напряжений, являющихся основной причиной образования трещин [2]. Варьируя параметрами нагрева при ЛТО электронным лучом, можно не только устранить сварочные напряжения, но и влиять на скорость протекания фазовых и структурных превращений в титановых сплавах и тем самым менять в благоприятном направлении структуру и свойства сварных соединений и обеспечивать их бездефектность. Данный способ находится на стадии исследований. [3]. Также термической обработке после сварки подвергаются и не упрочняемые сплавы, например – ВТ20, элементы из сплава ВТ20 проходят как правило неполный или полный отжиг после сварки в среде вакуума на различных режимах, позволяющих получить однородную структуру металла шва с основным материалом и выровнять механические свойства по всему сечению материала. Также, существует и способ термической обработки в условиях фазового предпревращения с использованием воды для охлаждения. Особенностью термической обработки в условиях фазового предпревращения является ее скоротечность (выдержка не более 2 минут). Физико-механические свойства элементов, прошедших ускоренную термообработку, дают хорошие показатели механических свойств, но с неудо-

влетворительной пластичностью. Для достижения необходимого уровня пластичности необходимо регулирование скорости охлаждения. Данный метод является перспективным и с необходимостью продолжения исследований по этому направлению [4].



Микроструктуры основного металла сплава 1



Микроструктуры металла шва сплава 1 после ЭЛС с предварительным подогревом при 200 °С и последующей ЛТО

Рисунок 2 – Микроструктуры образцов

В данной статье были рассмотрены основные наиболее перспективные способы термической обработки сварных соединений на сегодняшний день, выделены их положительные стороны и недостатки. Было выявлено:

- термическая обработка упрочняемых сплавов, включающая в себя закалку и старение, является отработанным технологическим процессом на одном из ведущих предприятий ОАК, но являющийся трудоемкой операцией, которая активно унифицируется;

- термическая обработка, включающая себя отжиг при температурах фазового предпревращения с последующим старением в воздушной среде, оказывает положительный эффект на свойства сварных соединений, который достигается более быстрым способом, но имеет ряд недостатков, таких как невозможность термообработки изделий, у которых отсутствует технологический припуск на снятие газонасыщенного слоя;

- термическая обработка электронным лучом на установке ЭЛУ обладает способностью придавать материалу необходимые механические свойства после сварки и релаксацию напряжений с незначительной затратой времени, данный способ мало изучен, продолжаются исследования в этой сфере;

- термическая обработка в условиях фазового предпревращения с высокоскоростным нагревом позволяет придать необходимую структуру материалу и механические свойства, релаксировать напряжения в металле шва. На данном этапе было исследовано влияние данного способа на не упрочняемый термической обработкой сплав ВТ20, исследования показали неудовлетворительную пластичность металла шва, но обеспечили приемлемый уровень прочности. В ближайшее время планируется исследование способа на сплавах, упрочняемых термической обработкой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дзунович Д. А., Панин П. В., Лукина Е. А., Ширяев А. А. Влияние режимов термической обработки на структуру и свойства сварных крупногабаритных полуфабрикатов из титанового сплава ВТ23 // Труды ВИАМ. 2018. №1 (61).

2. Влияние локальной термической обработки при ЭЛС титановых сплавов с силицидным упрочнением на механическиесвойства металла швов / Э. Л. Вржижевский, В. К. Сабокарь, С. В. Ахонин, И. К. Петриченко // Автоматическая сварка. – 2013. – № 2(718). – С. 21-24. – EDN TATXRV.

3. Лясоцкая, В. С. Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов / В. С. Лясоцкая ; Лясоцкая В.С.; Под ред. Б.А. Колачева. – Москва : Экомет, 2003. – 351 с.

4. Сунь, Л. Термическая обработка сварных соединений из титанового сплава ВТ20 в условиях фазового предпревращения / Л. Сунь, В. В. Григорьев, П. В. Бахматов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 14–18 ноября 2022

года / Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 169-173. – EDN MIKWJM.

УДК 544.478.01; 665.64.097.38
Сергеев Виталий Анатольевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sergeev Vitalii Anatolievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Шакирова Ольга Григорьевна, доктор химических наук, доцент, заведующий кафедрой “Химия и химические технологии”, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Shakirova Olga Grigorievna, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department “Chemistry and Chemical Technologies”, Komsomolsk-na-Amure State University

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ

POSSIBILITY OF USING VANADIUM CATALYSTS FOR PROCESSING HEAVY OIL FRACTIONS

Аннотация. В работе рассматривается влияние различных катализаторов на процесс акватермолиза (КАТ). Отмечена эффективность использования ванадиевого катализатора по сравнению с более традиционными цеолитами и кобальтом. Целевой продукт разделяли на установке АРН-ЛАБ-03 на фракции, каждую из них исследовали отдельно. Методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) доказано отсутствие металла в продуктах, в соответствии с этим был сделан вывод о безопасности использования катализаторов данного типа в циклах нефтезавода.
Abstract. The paper deals with the influence of different catalysts on the process of aquathermolysis (CAT). The efficiency of using vanadium catalyst compared to the more traditional zeolites and cobalt is noted.
The target product was divided into fractions on the ARN-LAB-03 unit; each of them was examined separately. X-ray fluorescence analysis (XRFA) proved the absence of metal in the products, according to which a conclusion was made about the safety of using this type of catalysts in refinery cycles.
Ключевые слова: тяжелые нефтяные фракции, катализаторы, ванадий, катализатор, нефтепереработка
Key words: heavy oil fractions, catalysts, vanadium, catalyst, oil refining

Несмотря на тенденцию перехода к возобновляемым источникам энергии, такой энергетический ресурс как нефть остается основным и самым востребованным в современности. Это связано с возможностью получать из нефти не только дорогое для человечества топливо, но и другие ценные соединения, используемые в нефтехимической и фармацевтической промышленности. Однако запасов лёгкой нефти на Земле становится всё меньше, а доля тяжелой и трудноперерабатываемой нефти растет с каждым годом. В связи с этим в настоящее время разрабатываются перспективные методы переработки тяжелой нефти [1-5], с целью необратимого снижения её вязкости и повышения выхода легких фракций, а также уменьшение доли образуемого в результате её переработки кокса.

Цель работы: рассмотрение возможности применения катализаторов на основе ванадия для переработки тяжелых компонентов нефтей: мазута, битума, гудрона.

Основное сырье для опыта – битум, полученный из битумной эмульсии путем выпаривания растворителя при температуре 180 °С и атмосферном давлении в течении 2 часов. При этом наблюдали увеличение вязкости битума и уменьшение его объема на 30-35%, что соответствует стандартным соотношениям для жидких битумных эмульсий. Полученный образец является твердым при комнатных условиях и имеет температуру разжижения 60-80 С, что характерно для битума марки БН 70/30. Сырье для всех опытов оставалось неизменным, соответственно погрешность на разное качество битума была исключе-

на. Нагревание в замкнутой системе проводили до 220 °С. Технологическим процессом был выбран акватермолиз, как самый эффективный из существующих [1].

Выделявшаяся в процессе газовая фракция не анализировали и, следовательно, не учитывали в расчете полезного выхода. Жидкая фракция отделяли декантацией смеси, мазут растворяли в керосине, массу рассчитывали по разности масс оставшихся в контейнере для нагревания продуктов и растворившихся. Масса асфальтенов была также рассчитана по разности масс. Давление в закрытой системе составляло 23-25 бар. Соотношение компонентов выбрано в соответствии с [2], так, масса воды была в 2 раза больше массы битума. Объем этилового спирта использовали постоянный, 3 мл, поскольку в [3] установили его эффективность, масса катализатора рассчитывали как 0,5 % от массы смеси (рисунок 1).

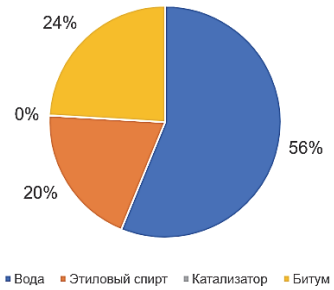


Рисунок 1. Процентное соотношение компонентов смеси

Анализ сырья и полученных продуктов проводили с помощью рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализатора с поляризацией Rigaku Nex CG и аппарата для разгонки нефтепродуктов АРН-ЛАБ-03. Результаты РФА показали наличие различных элементов в исходном битуме: Cl, S, Ca, Fe, Cu, но существенно меньшее их количество в полученных жидких фракциях.

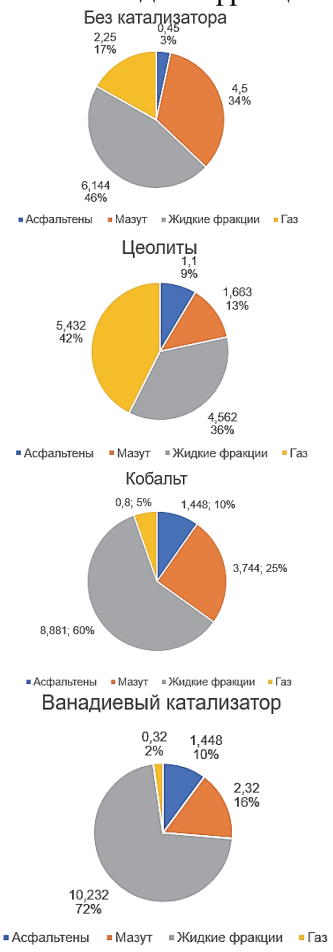


Рисунок 2. Выход фракций

В ходе работы было выявлено влияние на реакционную смесь различных катализаторов, таких как: цеолиты (алюмосиликаты) [1], пластина металлического кобальта, сплав ванадия (80,7%) с железом (15,4%) и алюминием (1,84%). Был проведен также холостой опыт для оценки результата. В ходе эксперимента выяснено, что в случае применения цеолитов увеличилось количество газов и асфальтенов, что говорит о более глубоком протекании реакции акватермолиза, как и в [4]. Пластина металлического кобальта ускоряет образование жидких фракций и мазута, при этом газов практически не выделялось, а масса асфальтенов превышает массу, которая оставалась после цеолитов.

Ванадиевый катализатор показал наибольшую каталитическую активность в тех же условиях. Так, больше всего в смеси оказалось легких бензиновых и тяжелых бензиновых фракций; практически в 2 раза больше, чем в экспериментах с кобальтовым катализатором, был повышен выход мазута, при одинаковом выходе асфальтенов. Следовательно, наилучшее каталитическое воздействие в реакции проявляется у сплава ванадия.

Жидкие продукты были также разделены и проанализированы. Так, в образцах без катализатора, с цеолитами, с кобальтом был замечен выход только бензиновых фракций, в то время как в образце с ванадиевым катализатором наблюдали выделение ещё и фракции ДТ, а именно керосина и декана (таблица 1).

Проведен анализ жидких фаз на исключение опасности наличия остатков ванадиевых и кобальтовых частиц в нефтепродуктах. Известно, что данные металлы при последующей переработке нефтепродукта могут отравлять катализаторы платиновой группы, а именно Pt/Pd/Ni. Указанных металлов в продуктах акватермолиза методом РФА обнаружено не было.

Таблица 1– Распределение фракций жидкого состояния по температурам начала и конца кипения на АРН-ЛАБ-03

Катализатор	Масса катализатора, г	Выход жидкости, мл	Т(нк)-Т(кк), °С	Фракция	Объем, мл
Без катализатора	-	7,4	92-100	Бензиновая	4,8
			111-125		2,6
Цеолиты	0,066	4	92-100		3,2
			111-125		0,8
Кобальт (пластина)	0,085	7	92-100		7
Ванадиевый катализатор	0,075	14	92-100	Бензиновая	4
			111-125		6
			150-175	Тяжелые компоненты бензина	4

В работе было выявлено каталитическое действие сплава ванадия в реакциях акватермолиза битума. Изменения механизмов процесса привело к увеличению доли легких (по сравнению с битумом) углеводородов. Следовательно, применение акватермолиза с использованием катализаторов на основе ванадия является перспективным направлением для переработки нефтяных фракций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Effect of Hydrogen-Donor of Heavy Crude Oil Catalytic Aquathermolysis in the Presence of a Nickel-Based Catalyst / Kh. Kh. Urazov, N. N. Sviridenko, Yu. A. Iovik [et al.] // Catalysts. – 2022. – Vol. 12, No. 10. – P. 1154. – DOI 10.3390/catal12101154. – EDN LIKIQF.

2. Oil dispersed nickel-based catalyst for catalytic upgrading of heavy oil using supercritical water / R. Djimasbe, M. A. Varfolomeev, A. A. Al-Muntaser [et al.] // Fuel. – 2021. – P. 122702. – DOI 10.1016/j.fuel.2021.122702. – EDN OEJZWL.

3. Aquathermolysis of heavy oil using nano oxides of metals / A. Lakhova, S. Petrov, D. Ibragimova [et al.] // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2017. – Vol. 153. – P. 385-390. – DOI 10.1016/j.petrol.2017.02.015. – EDN XMNUHK.

4. Influence of reservoir minerals and ethanol on catalytic aquathermolysis of heavy oil / Z. Zhou, W. Zhang, L. Ma [et al.] // Fuel. – 2022. – Vol. 307. – P. 121871. – DOI 10.1016/j.fuel.2021.121871. – EDN ICEOGP.

5. Viscosity Reduction and Mechanism of Aquathermolysis of Heavy Oil Co-Catalyzed by Bentonite and Transition Metal Complexes / W. Zhang, Qi. Li, Y. Li [et al.] // Catalysts. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1383. – DOI 10.3390/catal12111383. – EDN BGVVOR.

УДК 658.512.22

Симонов Аллен Альбертович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Simonov Allen Albertovich , student, Komsomolsk-na-Amure State University

Серебренникова Анжела Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Машиностроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Serebrennikova Anzhela Gennadievna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА МОДИФИКАЦИЙ КОЛЕННОГО РОЛЛАТОРА

DEVELOPMENT OF KNEE ROLLER MODIFICATIONS

Аннотация. Коленный роллатор – это инновационное средство передвижения для людей с ограниченными возможностями, особенно для тех, кто испытывает трудности при ходьбе после травм или пожизненны показаниям. Он представляет собой компактные и мобильные роликовые ходунки с мягкой опорой под колено, которая обеспечивает максимальный комфорт при использовании. Роллаторы оснащены полиуретановыми колёсами, что позволяет им плавно и бесшумно перемещаться по ровным поверхностям. Коленные помогают снизить нагрузку на суставы и мышцы, обеспечивая стабильность и уверенность при передвижении. Но данные устройства имеют проблемы: возможность передвигаться по лестницам и преодолевать препятствия на улицах, в виде бордюров. В данной статье предлагаются некоторые модификации, которые дадут возможность коленным роллаторам возможность передвигаться по лестницам и преодолевать препятствия на улицах, в виде бордюров.
Abstract. Knee rollator is an innovative means of transportation for people with disabilities, especially for those who have difficulty walking after injuries or lifelong indications. It is a compact and mobile roller walker with a soft support under the knee, which provides maximum comfort during use. Rollators are equipped with polyurethane wheels, which allows them to move smoothly and silently on flat surfaces. Knee rollators help reduce the load on joints and muscles, providing stability and confidence when moving. But these devices have problems: the ability to move on stairs and overcome obstacles on the streets, in the form of curbs. This article offers some modifications that will enable knee rollators to move on stairs and overcome obstacles on the streets, in the form of curbs.
Ключевые слова: коленный роллатор, колесо, лестница, бордюр, тормоз, блок управления, лепесток.
Key word: knee rollator, wheel, ladder, curb, brake, control unit, petal.

Ролятор (роллатор, опора-ходунок) – это специальное приспособление для помощи в ходьбе людям с ограниченной подвижностью. По сути, это четырехколесная конструкция с ручками для опоры и ручным тормозом (рисунок 1).

История создания роллатора началась в 1978 году в шведском городе Вестерос, где изобретательница Айна Вифальк разработала первую такую конструкцию. В Швеции это средство передвижения пользуется особой популярностью – каждый год около 60 000 человек начинают его использовать, что делает эту страну мировым лидером по количеству пользователей роллаторов. Кроме того, роллаторы оборудованы механизмом складывания коляски, что дает возможность легко перевозить их в автомобиле или обществен-ном транспорте, а также облегчает пользователю подъём по лестнице, так как сложенный роллатор способен при этом служить опорой. Многие роллаторы оснащены багажными корзинками или сумками, которые дополнительно облегчают повседневные дела (так, в супермаркете многие пожилые люди используют корзинку своего роллатора вместо продуктовой тележки), а тормоза-фиксаторы для колёс позволяют опереться на тележку и передохнуть, для этой же цели роллаторы часто оснащены располагающимся между опорами сиденьем.



Рисунок 1 – Коленный роллатор

В ходе исследования существующих решений была проведена работа с различными литературными источниками и анализ аналогичных устройств, найденных в сети Интернет (см. таблицу 1). Выявленные основные недостатки существующих разработок:

1. Завышенная стоимость продукции, включая товары отечественных производителей.
2. Значительные финансовые затраты при покупке.
3. Излишне громоздкая конструкция некоторых моделей.

Эти факторы существенно ограничивают доступность и удобство использования подобных технических средств.

Таблица 1 – Существующие аналоги средств передвижения по лестницам и преодоление бордюров

Название	Цена, руб
Кресло-коляска **ступенькоход** электрический лестничный подъемник Dragon DW-ST003A	250 000
Инвалидная коляска **ступенькоход** Caterwil GTS5	677 000
Лестничный **гусеничный подъемник** для инвалидов Барс	175 000
Кресло-коляска **ступенькоход** Caterwil GTS5	650 000

В отличие от инвалидной коляски, предназначенной в основном для передвижения полностью лишенных возможности самостоятельно двигаться пациентов, роллатор является транспортным средством, облегчающим самостоятельное передвижение, но не могущим полностью его заменить. Таким образом, роллатор может быть полезен людям, испытывающим трудности с ходьбой, но не вполне утратившим способность передвигаться, что делает его удобной альтернативой костылям или палке для хождения. В силу этих особенностей роллаторы на сегодняшний день популярны не только как помощь в передвижении на период восстановления после травм или при обусловленных болезнью или инвалидностью нарушениях опорно-двигательной системы, но и как средство повышения индивидуальной мобильности для лиц пожилого возраста в повседневной жизни. В связи с тем, что роллатор может передвигаться **только** по ровной поверхности, у него нет возможности производить спуск-подъем человека с ограниченными движения по лестнице в подъезде, а также преодолевать бордюры на улице.

Для того чтобы решить проблему подъема-спуска по лестнице и преодоление препятствий на улице, предлагается произвести модификации в уже существующую конструкцию коленного роллатора.

Модификациями коленного роллатора будут:

Планируемые улучшения коленного роллатора включают следующие элементы:

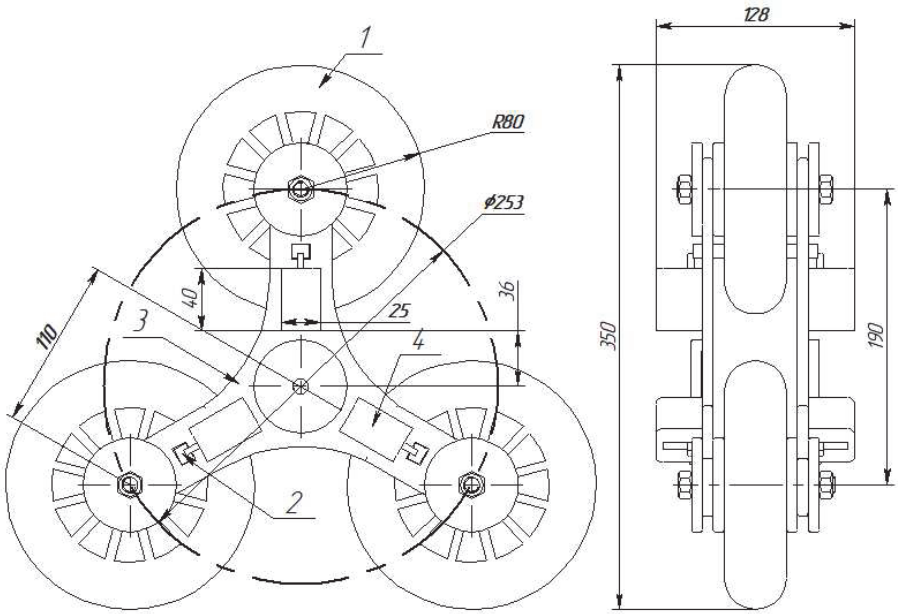
1 Модернизация передних колес с установкой специального механизма блокировки для безопасного перемещения по лестницам и преодоления уличных препятствий.

2 Создание системы дистанционного управления с функцией фиксации передних колес.

3 Разработка комплексной панели управления для всей конструкции коленного роллатора. На рисунке 2 показана конструкция строенного колеса (на переднюю ось приходится 4). Конструкция включает: три сдвоенных колеса (1). Тормозной механизм со штифтом (2), обеспечивающий фиксацию колеса при подъеме и спуске. Основную несущую конструкцию (лепесток) (3). Блок управления тормозной системой (4).

На рисунке 3 представлена схема движения передних колес по лестнице. Размеры лестничного пролета брались согласно п. 8.1.5 СП 1.13130.2009, не меньше 120 см.

Основная идея предлагаемой модификации заключается в том, что при блокировки передних колес, роллатор не имеет возможности катиться вниз, а может только «перешагивать» постепенно. Два колеса из трех, попадают на пролетный марш, пользователь толкает роллатор дальше, и благодаря кручению колес в подшипнике, происходит опускание третьего колеса на следующий пролетный марш.



1 – колесо; 2 – стопор; 3 – лепесток; 4 – блок управления стопором

Рисунок 2 – Общий 2D-вид переднего колеса

На рисунке 3 представлена общая схема управления блокатором стопора одного колеса на лепестке, их три.

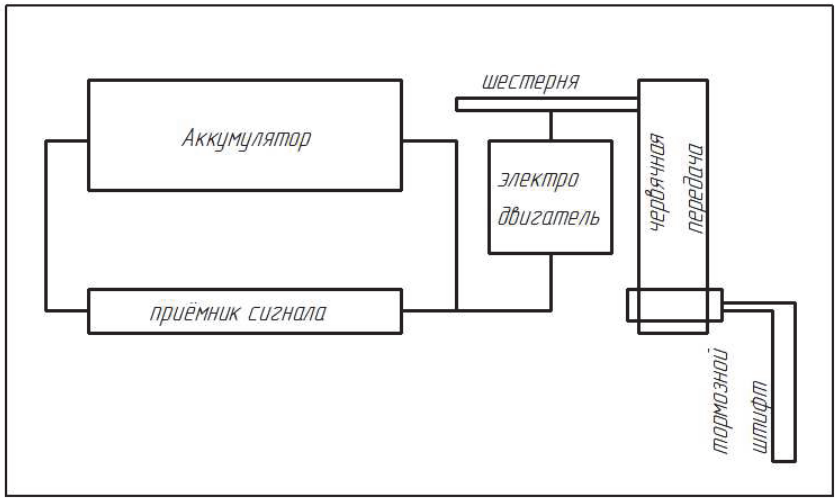


Рисунок 3 – Общая схема управления блокировкой колес

На рисунке 4 представлена схема управления коленным роллатором, в виде панели, которая держится на руле. Зарядка панели производится дома, через зарядное устройство, как телефон или ноутбук. На индикаторах показывается уровень зарядки панели: 1 верхний зеленый индикатор – 85-100%; 2 второй зеленый – 70-85 %; желтый – 35-70%; 4 красный (критический) – 0-35 %.

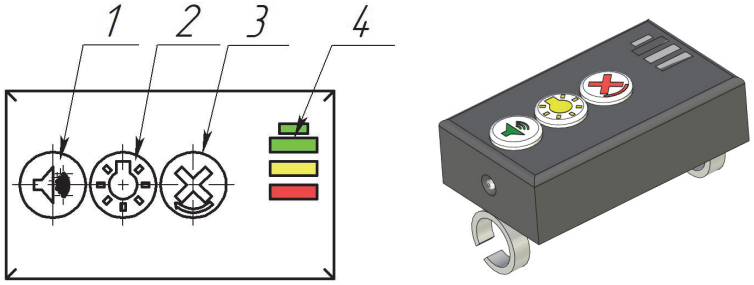


Рисунок 4 – Панель управления: 1 – звуковой сигнал; 2 – фонарик на панели; 3 – блокировка передних колес; 4 – индикаторы зарядки панели.

После проделанных модификаций в существующей модели роллатора, человек получает возможность спускать и подниматься по лестнице и преодолевать препятствия на улице.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глухова, М. В. Оптимизация реабилитации двигательной функции / М. В. Глухова // Студенческая наука и медицина XXI века: традиции, инновации и приоритеты. SMART: Samara Medical Articles : сборник материалов XVII Всероссийской (91-я Итоговой) студенческой научной конференции СНО с международным участием, Самара, 12 апреля 2023 года. – Самара: ООО «Полиграфическое объединение «Стандарт», 2023. – С. 750-752. – EDN JBGEDH.

2. Патофизиологические и клинические аспекты биомеханики передвижения у пожилых людей / А. С. Вашура, А. Е. Литвинов, В. В. Фесенко [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. – С. 67. – EDN RXUNBF.

3. Патент № 2709605 C1 Российская Федерация, МПК A61G 5/00. Трехколесный терапевтический электробеговел для людей с ограниченными возможностями : № 2019124124 : заявл. 31.07.2019 : опубл. 18.12.2019 / К. З. Пономарев. – EDN JHVHQB.

УДК 658.512.22

Табаков Евгений Васильевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Tabakov Evgeny Vasilyevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Серебренникова Анжела Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Машиностроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Serebrennikova Anzhela Gennadievna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University

НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ 12Х18Н10Т: ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

STAINLESS STEEL 12X18N10T: CHARACTERISTICS AND FEATURES OF TURNING

Аннотация. В данной статье рассмотрена нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, ее состав, области применения и самое главное – особенности ее токарной обработки. Трудности в обрабатываемости данного рода сталей известны уже давно, с момента применения таких сталей в промышленности, чаще всего в авиа- и машиностроения. Это связано с тем, что данная сталь является труднообрабатываемой из-за своего особенного химического состава. В целях дальнейшей работы над магистерской диссертацией, в которой необходимо будет определить оптимальную геометрию режущего токарного инструмента опытным путём, для начала нужно определить все тонкости и сложности токарной обработки этой стали.

Abstract. This article discusses stainless steel 12X18N10T, its composition, areas of application and, most importantly, the features of its turning. The difficulties in the machinability of this type of steel have been known for a long time, since the use of such steels in industry, most often in aircraft and mechanical engineering. This is due to the fact that this steel is difficult to machine due to its special chemical composition. For the purpose of further work on the master's thesis, in which it will be necessary to determine the optimal geometry of the cutting turning tool, first you need to determine all the subtleties and complexities of turning this steel.

Ключевые слова: сталь 12Х18Н10Т, состав, геометрия, подача, режущий инструмент, передний угол γ, задний угол α, режимы обработки.

Key words: steel 12X18N10T, composition, geometry, feed, cutting tool, front angle γ, rear angle α, processing modes.

Сталь 12Х18Н10Т – одна из самых востребованных марок нержавеющей стали. Области применения: пищевая промышленность, химическая и фармацевтическая отрасли, нефте-

газовая промышленность, машиностроение, судостроение, бытовые приборы. Область применения говорит об её универсальности, хотя по цене данного рода стали значительно дороже. Как и другие стали, данная сталь может быть обработана на токарном станке, но здесь могут возникнуть некоторые проблемы её обработки.

Для начала рассмотрим химический состав данной стали.

12Х18Н10Т: 12 - содержание углерода 0,12%; Х18 - содержание хрома 18%; Н10 - содержание никеля 10%; Т - наличие титана в небольшом количестве.

Её характеристики: высокая долговечность, отличная экологичность, превосходная антикоррозионная стойкость, криогенные свойства, немагнитная, высокая свариваемость. Изделия из этой стали сохраняют свои свойства при температурах от -196°С до +600°С. Она отлично работает в агрессивных средах, включая растворы кислот и щелочей. Эта сталь особенно ценится за универсальность применения и отличные эксплуатационные характеристики в самых разных условиях.

Токарная обработка этой стали имеет некоторые сложности, такие как: затрудненное удаление стружки, повышенное деформационное упрочнение, быстрый износ режущего инструмента. Для этого разберем, как влияют на токарную обработку каждый элемент в составе этой стали. Первый элемент хром, его в стали 18%. Положительное влияние он оказывает на то, что:

1 Обеспечивает высокую коррозионную стойкость, что важно при обработке в агрессивных средах.

2 Способствует образованию защитной оксидной пленки на поверхности.

3 Улучшает прочность и твердость материала.

Отрицательное влияние:

1 Увеличивает адгезию при резании, что приводит к залипанию режущего инструмента, повышенному износу резцов, образованию наростов на инструменте, усложняет стружкоудаление из-за повышенной вязкости материала, склонности к налипанию стружки, затрудненного дробления стружки.

Наличие в составе стали хрома, внрсит трудности при обработке:

1 Требуется более частая заточка инструмента.

2 Необходимо использовать повышенные скорости резания.

3 Важно обеспечить интенсивное охлаждение.

4 Рекомендуется применять инструменты с износостойкими покрытиями.

Практические рекомендации при токарной обработке при влиянии хрома:

1 Использовать резцы с **положительным передним углом.**

2 Применять СОЖ под давлением.

3 Выбирать **режимы резания с повышенными скоростями и малыми подачами.**

4 Применять инструменты из твердых сплавов с высоким содержанием карбидов вольфрама (серия ВК).

Вторым не менее важным элементом в составе стали 12Х18Н10Т, является никель – 10%. В качестве положительного влияния никеля на обрабатываемость этой стали следующее:

1 Обеспечивает стабильность аустенитной структуры.

2 Улучшает обрабатываемость за счет снижения прочности материала, повышения пластичности, уменьшения склонности к упрочнению при деформации, способствует легкому стружкообразованию.

Но есть и отрицательное влияние: на обрабатываемость:

1 Повышает адгезию при резании.

2 Увеличивает склонность к наростообразованию.

4 Требует более частой замены инструмента.

В качестве практических рекомендаций при точении этой стали, стоит онести применение резцов с большим положительным главным углом, а также использование больших скоростей резания. Содержание титана в составе стали 12Х18Н10Т минимальное. При рассмотрении литературных источников, оказывается титан, даже при его минимальном содержании в составе стали, оказывает сильно влияние при точении, а именно: способствует лучшему качеству поверхности, снижению силы резания, уменьшению наростообразования. Перечисленные па-

раметры говорят о положительном влиянии на весь токарный процесс. Рекомендации по практическому применению остаются те же , что и впредыдущих случаях. Попробуем разобраться, что такое использовать большие углы резания у токарного инструмента. Использование инструментов с большими углами резания означает применение резцов с увеличенными значениями следующих углов:

Главный передний угол (γ) - это угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания и проходящей через главную режущую кромку. Этот угол может быть:

Положительным (+γ) - когда передняя поверхность направлена вниз от плоскости, перпендикулярной плоскости резания.

Равным нулю - когда передняя поверхность перпендикулярна плоскости, перпендикулярной плоскости резания.

Отрицательным (-γ) - когда передняя поверхность направлена вверх от плоскости, перпендикулярной плоскости резания.

Главный передний угол γ служит для уменьшения деформации срезаемого слоя. С увеличением переднего угла облегчается врезание резца в металл, уменьшается сила резания и расход мощности. В сочетании этого, в целом, повышается качество обрабатываемой поверхности.

Рекомендуемые значения углов для обработки стали 12Х18Н10Т:

1 Главный передний угол (γ): +10°…+15°.

2 Главный задний угол (α) : 8°…12°.

3 Угол в плане (φ): 45°…60°.

4 Вспомогательный угол в плане (φ_1): 10°…15°.

Теперь рассмотрим, при каких режимах стоит производить токарную обработку данной стали. Речь идёт об основных режимах токарной обработки: скорость резания V, подача S и глубина резания t.

В большинстве случаев подача оказывает прямо пропорциональное влияние на шероховатость обработанной поверхности. То есть, чем больше подача, тем больше шероховатость Ra. Предпочтительные параметры подачи S для получения минимальной шероховатости – это малые подачи (0,02-0,05 мм/об) [1]. Зависимость качества обработанной поверхности от скорости резания V также имеет свои нюансы. Так, например, на скоростях резания V от 150 до 185 м/мин, шероховатость меняется предсказуемо. Увеличение подачи приводит к увеличению шероховатости. Но при скорости резания 220 м/мин наблюдается аномальное поведение: при увеличении подачи с 0,02 до 0,05 мм/об шероховатость возрастает с Ra ≈ 0,427 до Ra ≈ 0,494 мкм. А при дальнейшем увеличении подачи до 0,08 мм/об шероховатость снижается до Ra ≈ 0,466 мкм [1,2]. Глубина резания в этом процессе должна быть небольшой. Рекомендуемое значение 0,1 мм.

В результате токарной обработки всегда хочется получить качественную поверхность за минимальное время и с минимальными затратами. Поэтому при соблюдении указанных параметров и рекомендаций можно добиться хорошего качества обработки поверхности при минимальном физическом воздействии на материал.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смагин, Г. и. Методика нормирования оптимальных режимов резания труднообрабатываемых материалов по стойкости и производительности / Г. и. Смагин, В. с. Карманов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2004. – № 4(25). – С. 34-36. – EDN OWROGB.

2. Модель динамической системы токарного станка при резании труднообрабатываемых материалов / А. А. Игнатьев, Т. Г. Насад, В. А. Добряков, В. А. Ревякин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2024. – № 2(70). – С. 148-158. – DOI 10.21685/2072-3059-2024-2-11. – EDN RJAZLV.

3. Снегирева, К. К. Управление резанием труднообрабатываемых материалов / К. К. Снегирева // ИННОВАЦИОННАЯ ТРАЕКТОРИЯ РАЗВИТИЯ современной науки: СТА-

НОВЛЕНИЕ, развитие, ПРОГНОЗЫ : сборник статей V Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 11 января 2021 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2021. – С. 34-37. – EDN QBURWB.

УДК 621.9:519.8
Фью Сет Аунг, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Phyo Set Aung, Graduate Student of Komsomolsk-na-Amure State University
Башков Олег Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология новых материалов», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bashkov Oleg Viktorovich, Doctor of Sciences in Technology, Professor, Head of the department "Materials Science and Technology of New Materials", Komsomolsk-na-Amure State University

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 15-5 PH НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

THE METHOD OF TESTING STEEL SAMPLES OF 15-5 PH FOR CYCLIC DURABILITY USING ACOUSTIC EMISSION

Аннотация. Нержавеющая сталь 15-5 PH широко используется в различных отраслях промышленности благодаря своей высокой коррозионной стойкости, прочности и пластичности. Однако, она обладают микроструктурными особенностями, которые могут влиять на их механические свойства, особенно на трещиностойкость и долговечность. Для надежной оценки эксплуатационных характеристик необходимо использовать методы, позволяющие мониторить процессы разрушения в реальном времени. Целью данной работы является разработка и испытание методики, позволяющей получить более полную информацию о поведении материала при циклическом нагружении.
Abstract. Stainless steel 15-5 PH is widely used in various industries due to its high corrosion resistance, strength and ductility. However, they have microstructural features that can affect their mechanical properties, especially crack resistance and durability. For reliable assessment of operational characteristics, it is necessary to use methods that allow monitoring the destruction processes in real time. The purpose of this work is to develop and test a technique to obtain more complete information about the behavior of the material during cyclic loading.
Ключевые слова: циклическая усталость, 15-5 PH сталь, акустическая эмиссия.
Keywords: cyclic fatigue, 15-5 PH steel, acoustic emission.

В данной работе представлена методика испытания на трещиностойкость и усталостную долговечность образцов стали 15-5 PH с применением акустической эмиссии (АЭ). В настоящее время нержавеющая сталь 15-5 PH, обладающая высокой прочность, коррозионной стойкость и обрабатываемость, широко используется в различных областях, включая авиацию, химическую промышленность, медицину. Акустическая эмиссия (АЭ) — это эффективный метод неразрушающего контроля материалов. Он позволяет исследовать структурные повреждения, возникающие в процессе деформации, и получать ценную информацию о динамике структурных изменений в материале. Применение АЭ помогает выявлять ранние стадии повреждений и идентифицировать механизмы разрушения нержавеющей стали 15-5 PH, что способствует повышению надежности и долговечности изделий [1]. Исследования проводятся с целью разработки новых методов обработки АЭ-сигналов для получения новых сведений о динамике структурных изменений при разрушении материала. Кроме того, будет изучено влияние микроструктуры стали на параметры сигналов, генерируемых АЭ.

Перед испытанием образцы стали 15-5 PH, представляющие собой вырезанные из листа толщиной 2 мм заготовки, шлифовались и полировались с целью устранения поверхностных повреждений, которые могут оказать вн\лияние на результаты усталостных испы-

таний. В таблице 1 приведен химический состав стали 15-5 PH. Внешний вид образцов приведен на рис. 1, а. Шлифованные и полированные образцы подвергают проверке геометрических размеров, что необходимо для определения правильности и точности получения необходимых данных для последующего анализа результатов усталостных испытаний. Поверхность образца после полировки при увеличении х400 приведена на рис. 1, б. Полировка проихводилась на шлифовально-полировальной машине EcoMet 250 Pro (рис. 1, в). После полирования, а также после испытаний выполнялось фотографирование поверхности полированных образцов на микроскопе Nikon eclipse MA200 (рис 1, г).

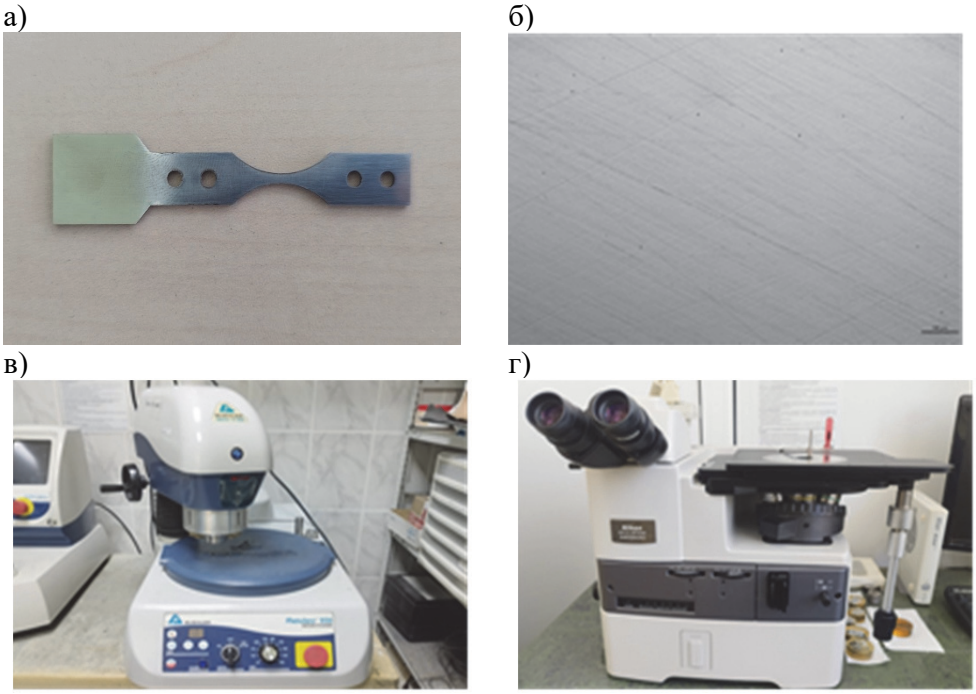


Рисунок 1 – Образец для испытаний и оборудование для его окончательной подготовки и фотографирования: а) образец стали 15-5 PH, б) поверхность образца после полировки при увеличении х400, в) полировальная машина EcoMet 250 Pro, г) микроскоп Nikon eclipse MA200

В настоящее время все более широкое применение находит метод АЭ, как метод неразрушающего контроля, основанная на регистрации упругих механических волн ультразвукового диапазона [2]. Однако, данный метод также эффективен и при выполнении исследований структурной деградации материалов, позвергающихся различным видам механического воздействия. Испытание на циклическую усталость является важным видом исследования механических свойств материалов, при этом достаточно трудоемким. Применение АЭ в процессе усталостных испытаний может дать информацию о динамических процессах развития усталостных повреждений. Исследование циклической долговечности образцов проводятся на установке с бесконтактным электромагнитным нагружением (рис. 2, а). При испытании сигналы АЭ регистрируются датчиком, укрепленным на верхней части образца 1 [3]. Преобразованные сигналы усиливаются усилителем с коэффициентом усиления 40 дБ и подаются на аналого-цифровой преобразователь 4, установленный в ЭВМ 5 с управляющей программой 6 (рис.2, б).

Установка для усталостных испытаний управляется ЭВМ 10, которая посредством обратной связи осуществляет усиление импульсов модулем 9 и управление электромагнитом 8, который приводит к колебаниям рычага 7, непосредственно связанного с образцом 1.

Частота резонансных колебаний зависит от размеров и упругих свойств материала образца и может варьироваться от 30 до 70 Гц при использовании различных сплавов. При испытании регистрируются частота колебаний, число циклов, напряжение и сигналы АЭ. После окончания испытания выполняется анализ результатов, полученных данных из ЭВМ, и их сопоставление с результатами регистрации АЭ, после чего по методике, изложенной в

[4], или с использованием других методов анализа может быть выполнена идентификация развития усталостных повреждений.

а) б)

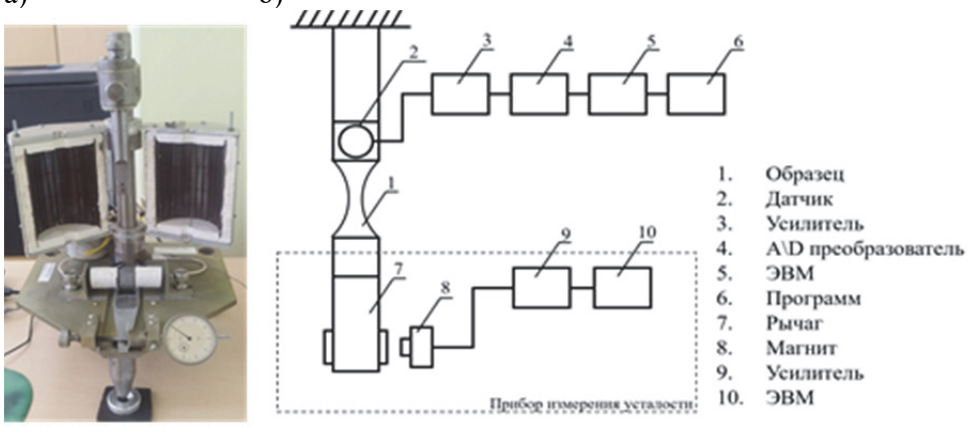


Рисунок 2 – Установка для усталостных испытаний (а)
и схема регистрации колебаний и сигналов АЭ (б)

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 24-29-00838).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bashkov, O. V. Identification of acoustic emission sources under cyclic loading of the polymer composite material used in shipbuilding (In English) / O. V. Bashkov, A. A. Bryansky, T. I. Bashkova // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – No. 2-2(52). – P. 28-33. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2048. – EDN CXUMWO.

2. Апасов, А. М. Исследование сигналов акустической эмиссии при статическом нагружении плоских образцов из высокопрочной стали / А. М. Апасов // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316, № 2. – С. 32-41. – EDN MLIBED.

3. Методика испытания образцов стали 12Х18Н10Т, полученных 3D печатью, на циклическую долговечность / З. О. Чжо, О. В. Башков, А. А. Бурдасова, Т. И. Башкова // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 152-154. – EDN QVQIKA.

4. Патент № 2737235 C1 Российская Федерация, МПК G01N 29/14. Способ идентификации источников акустической эмиссии : № 2020115070 : заявл. 26.03.2020 : опубл. 26.11.2020 / О. В. Башков, Х. Х. А. Кхун, И. О. Башков, А. А. Брянский ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Комсомольский-на-Амуре государственный университет" (ФГБОУ ВО "КнАГУ"). – EDN OBKSEA.

УДК 621.113

Чжао Цзыдун, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Zhao Zidong, Graduate Student, Komsomolsk-na-Amure State University
Люй Лань, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Хэйлунцзянский научно-технический университет (КНР)
Lyu Lan, Graduate Student, Komsomolsk-na-Amure State University, Heilongjiang University of Science and Technology (PRC)
Башков Олег Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология новых материалов», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bashkov Oleg Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Materials Science and Technology of New Materials, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 5052 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

FATIGUE LIFE ANALYSIS OF 5052 ALUMINUM ALLOY SAMPLES USING ACOUSTIC EMISSION METHOD

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований усталостных испытаний алюминиевого сплава 5052 и анализируется усталостная долговечность алюминиевого сплава 5052. В ходе усталостных испытаний регистрируются сигналы акустической эмиссии и выполняется анализ природы развития усталостных трещин.
Abstract. This paper presents the results of fatigue testing of aluminum alloy 5052 and analyzes the fatigue life of aluminum alloy 5052. During fatigue testing, acoustic emission signals are recorded and the nature of fatigue crack development is analyzed.
Ключевые слова: циклическая усталость, алюминиевый сплав 5052, акустическая эмиссия
Keywords: cyclic fatigue, aluminum alloy 5052, acoustic emission

Для некоторых металлических деталей в инженерной практике, таких как пружины, шестерни, валы и т. д., напряжение, создаваемое внешними силами, которые они выдерживают во время работы, меньше их предела прочности на растяжение. Если внешняя сила и создаваемое ею напряжение периодически изменяются, металлические детали могут внезапно сломаться под действием повторяющихся периодических изменений напряжения [1]. В процессе деформации растяжения и сжатия при усталости будет происходить упругая или пластическая деформация. При появлении в образце усадочных раковин существует вероятность образования трещин, что отрицательно скажется на усталостной долговечности. Усталостное разрушение металлических деталей представляет собой непрерывный процесс, а повреждения, вызванные внешними нагрузками на сами металлические детали, могут накапливаться. Когда повреждение накапливается до определенного критического значения, возникает усталостное повреждение [2]. Алюминиевый сплав 5052 стал предпочтительным материалом в таких областях, как судостроение, автомобилестроение, строительство, электроника и т. д., благодаря синергетическим преимуществам, таким как коррозионная стойкость, свариваемость, небольшой вес и гибкость обработки.

В данной работе в качестве объекта исследования выбран алюминиевый сплав 5052. Алюминиевый сплав 5052 широко применяется в ракетной, авиационной и аэрокосмической промышленности. В таблице 1 представлен химический состав алюминиевого сплава 5052 [3]. Для определения циклической долговечности алюминиевого сплава 5052 были проведены исследования усталостные испытания образцов. Характер накопления повреждений определяется с использованием методов структурного анализа и акустической эмиссии (АЭ).

Таблица 1 – Химический состав сплава 5052

Вещество	Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Al
Состав, %	<0,4	<0,25	<0,1	<0,15	<0,01	<0,1	2,2-2,8	<0,1	остальное

Исследования проводятся с целью определения характеристик и закономерностей накопления усталостных повреждений. В испытании использовалась бесшумная резонансная нагрузочная машина лабораторного класса (рис. 1). При выполнении усталостных испытаний дополнительно использовался метод АЭ. Широкополосный преобразователь АЭ устанавливался на образце, далее сигнал усиливался усилителем 40 дБ. Усилитель подключался к АЦП Adlink PCI-9812, входящему в состав аппаратно-программного комплекса AE Pro-2.0 для регистрации и анализа сигналов АЭ. Сигналы регистрировались в течение всего эксперимента и впоследствии обрабатывались с помощью программы, созданной в Matlab для обработки сигналов АЭ [4, 5].Образцы испытывались при амплитуде напряжения цикла 200 МПа.



Рисунок 1 - Оборудование для испытаний на усталость

Образцы из алюминиевого сплава 5052 были отполированы для уменьшения влияния царапин, локальных повреждений и других дефектов поверхности на результаты циклических усталостных испытаний. После 29000 циклов частота автоколебаний образца начала снижаться. Испытание было остановлено после достижения 37700 циклов. Частота автоколебаний снизилась после начала роста магистральной трещины до 24,97 Гц при первоначальном значении частоты 32,65 Гц. После остановки испытания был проведен анализ поверхности для определения местоположения образовавшейся магистральной усталостной трещины. Перед испытанием образцов обе поверхности были сфотографированы после полировки. После испытания участки вблизи кромки, где имеются видимые трещины, были сфотографированы (рисунок 2) .На рисунке 3 (а) представлен график зависимости частоты колебаний образца от количества циклов нагружения при испытании с амплитудой цикла 200 МПа. После 2200 циклов испытания (100 с) были зарегистрированы первые сигналы АЭ. Как видно из рисунка 3 (б), незначительное число сигналов АЭ регистрируется до 950 с (~32000 циклов). Далее активность регистрации сигналов повышается и периодически снижаясь не прекращается до разрушения образца.

а) б)

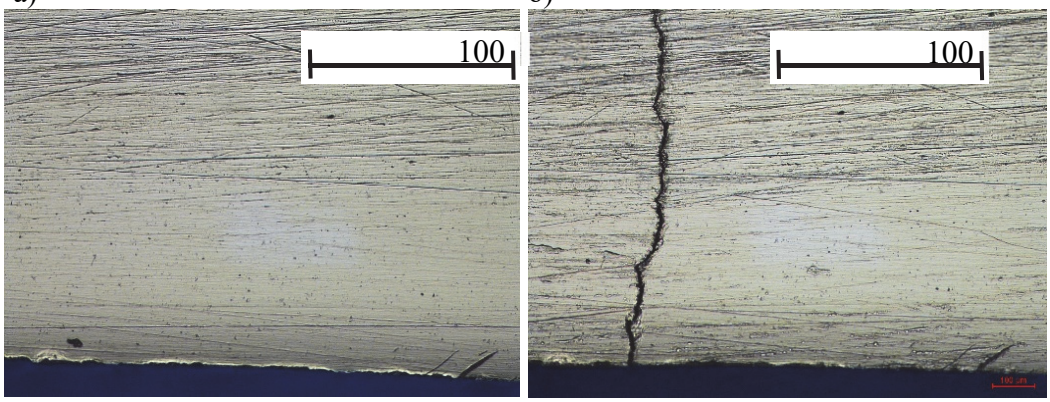


Рисунок 2 – Структура поверхности образцов сплава 5052
до (а) и после (б) усталостных испытаний

Частота автоколебаний образца не изменяется до 26000 циклов, поскольку этот этап является инкубационным периодом усталости, к концу которого начинается зарождение микротрещин. К концу этого периода в поверхностных дефектах образца, на границах зерен знакопеременное напряжение вызывает локальное движение дислокаций и начинается образования микротрещин. На этот этап обычно приходится 70-80 % усталостной долговечности.

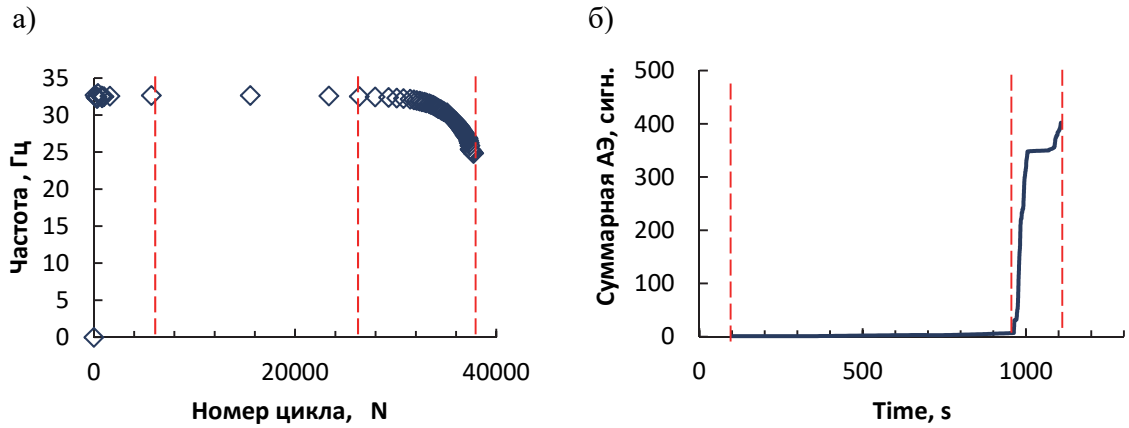


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости частоты колебаний от номера цикла (а) и накопления суммарной АЭ (б) при испытании образцов сплава 5052 при напряжении цикла 200 МПа

После 26000 циклов (~800 с) начинается снижение частоты, вызванное началом роста магистральной трещины. В зоне концентрации напряжений начинают образовываться трещины, которые сливаются из микротрещин и приводят к регистрации АЭ. Трещины распространяются в направлении, перпендикулярном максимальному главному напряжению, а скорость распространения трещины растет при поддержании постоянной амплитуды напряжения, образуя магистральную трещину. В процессе распространения трещины начинает генерироваться большое число сигналов АЭ малой амплитуды с высокой активностью. Однако, низкая амплитуда сигналов АЭ не позволяет их зарегистрировать сразу после начала роста магистральной трещины, так как скорость ее роста пока достаточно низка, и энергия развивающихся с каждым циклом повреждений приводит к регистрации сигналов, не превышающих установленный шумовой порог дискриминации. Период, при котором непрерывно регистрируются множественные сигналы, обусловленные пластической деформацией и повреждением материала в устье растущей трещины начинается с 32000 (~950 с). По мере роста основной трещины до усталостного разрушения резонансная частота образца быстро снижается, приводя к увеличению скорости роста трещины и амплитуды регистрируемых сигналов. Это показывает, что усталостную долговечность можно предсказать с помощью технологии метода АЭ.

В проведенном исследовании выполнено определение усталостной долговечности образцов алюминиевого сплава 5052 при циклическом нагружении с амплитудой цикла 200 МПа. Магистральная трещина отчетливо видна под микроскопом после испытания, контролируемого по снижению частоты резонансных колебаний. При достижении 28000 циклов наблюдается снижение резонансной частоты автоколебаний образца. Активная генерация сигналов АЭ начинается после достижения 32000 циклов испытания в связи с увеличением скорости роста магистральной трещины и связанной с этим амплитуды регистрируемых сигналов АЭ. В это время формируется и в последствии продолжает рост магистральная трещина. Таким образом, развитие усталостных трещин и усталостную долговечность можно анализировать и прогнозировать по моменту начала активной регистрации по активности регистрируемых сигналов АЭ.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 24-29-00838).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бао, Ф. Усталостное разрушение алюминиевого сплава 1163 с различной морфологией оксидного покрытия / Ф. Бао, Л. Люй, О. В. Башков // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2024. – Т. 20, № 1(229). – С. 3-7. – DOI 10.36652/1813-1336-2024-20-1-3-7. – EDN YQLZIS.

2. Merson, D. L. Application of the spectral analysis of acoustic emission signals to studies of vulnerability of TiN coatings on steel substrates / D. L. Merson, A. A. Razuvaev, A. Y.

Vinogradov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2002. – Vol. 38, No. 7. – P. 508-516. – DOI 10.1023/A:1022154321301. – EDN YVHDYZ.

3. Построение обобщенной диаграммы усталости алюминиевых сплавов с использованием метода акустической эмиссии / О. В. Башков, Т. И. Башкова, Р. В. Ромашко, А. А. Попкова // Цветные металлы. – 2016. – № 4(880). – С. 58-64. – DOI 10.17580/tsm.2016.04.10. – EDN WCOODT.

4. The research of the features destruction of the of oxide coatings on aluminum alloy by using the method of acoustic emission / X. Li, C. Zhou, O. V. Bashkov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Saint Petersburg, 14–16 мая 2019 года. Vol. 1281. – Saint Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012050. – DOI 10.1088/1742-6596/1281/1/012050. – EDN NDCATH.

5. Башков, О. В. Исследование влияния толщины азотированного поверхностного слоя на стадийность деформации и разрушения стали 12Х18Н10Т методом акустической эмиссии, корреляции цифровых изображений и анализа диаграмм нагружения / О. В. Башков, С. В. Панин, А. В. Бяков // Физическая мезомеханика. – 2010. – Т. 13, № 6. – С. 73-80. – EDN NDBRBT.

УДК 621.9:519.8

Чжо Зин Оо, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kyaw Zin Oo, Graduate Student of Komsomolsk-na-Amure State University
Башков Олег Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология новых материалов», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bashkov Oleg Viktorovich, Doctor of Sciences in Technology, Professor, Head of the department “Materials Science and Technology of New Materials”, Komsomolsk-na-Amure State University
Фью Сет Аунг, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Phyo Set Aung, Graduate Student of Komsomolsk-na-Amure State University
Янченко Максим Иванович, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Yanchenko Maksim Ivanovich, Master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 15-5 PH ПРИ АСИММЕТРИЧНОМ НАГРУЖЕНИИ

INVESTIGATION OF CYCLIC FATIGUE OF STEEL SAMPLES OF 15-5 PH UNDER ASYMMETRIC LOADING

Аннотация. В статье представлены результаты исследования циклической усталости стали 15-5 PH при асимметричном нагружении. Циклические испытания на усталость образцов выполнялись на установке с использованием бесшумного бесконтактного электромагнитного нагружения. На протяжении всего испытания регистрировалась акустическая эмиссия при накоплении усталостных повреждений. Установлены результаты усталостных разрушений, зарегистрированных методом АЭ, а также стадии зарождения и развития магистральных трещин.

Abstract. The article presents the results of a study of cyclic fatigue of 15-5 PH steel under asymmetric loading. Cyclic fatigue tests of the samples were performed on the installation using a silent contactless electromagnet. Acoustic emission was recorded during the accumulation of fatigue damage throughout the test. The results of fatigue failures recorded by the AE method, as well as the stages of nucleation and development of main cracks, have been established.

Ключевые слова: циклическая усталость, 15-5 PH сталь, акустическая эмиссия, асимметричное нагружение.

Keywords: cyclic fatigue, 15-5 PH steel, acoustic emission, asymmetric loading.

Исследование особенностей развития циклической усталости конструкционных материалов остается ключевой задачей в материаловедении, особенно для высоконагруженных применений в аэрокосмической, энергетической и химической отраслях. Сталь марки 15-5 PH является мартенситной нержавеющей сталью с прецизионной добавкой упрочняющего элемента Cu, благодаря которому в ней сочетаются высокая прочность, коррозионная стойкость и технологичность. Сталь широко используется в критических узлах, подверженных циклическим нагрузкам. Однако эксплуатационные условия зачастую характеризуются асимметричным нагружением, неравными амплитудами растяжения и сжатия или переменным коэффициентом асимметрии цикла, что приводит к возникновению ненулевого среднего напряжения и существенно влияет на кинетику накопления повреждений. В отличие от классических исследований усталости, которые обычно проводились на материалах, подвергающихся симметричному циклическому нагружению, асимметричное воздействие вызывает более сложные процессы, приводящие к разрушению. К ним относятся неоднородная пластическая деформация, перераспределение остаточных напряжений и ускоренное образование трещин в зонах концентрации напряжений.

На испытание циклической усталости использованы образцы нержавеющей стали 15-5PH, состав которой показан в таблице 1. Образцы были выполнены в форме двойной лопатки с радиусной рабочей частью шириной 2 мм в наиболее узкой части, толщиной 2 мм для испытания на усталость (образцы типа III по ГОСТ 25.502-79). Образцы вырезались по контуру электроэрозионным методом. Исследование циклической усталости образцов выполнялось на установке с бесшумным бесконтактным электромагнитным нагружением [2]. В данной работе были проведены испытания с использованием одного электромагнита на асимметричное нагружение. Образцы были испытаны при амплитуде асимметричной циклического нагружения 500 МПа с коэффициентом асимметрии цикла R = -0,62. В зависимости от упругих свойств материала, устройство для измерения усталости может настраивать частоту резонансных колебаний в диапазоне от 30 до 70 Гц. Метод акустической эмиссии (АЭ) применялся для исследования процесса накопления усталостных повреждений. Сигналы АЭ регистрировались с помощью широкополосного пьезоэлектрического преобразователя GT-301. Для обработки АЭ-сигналов использовалась программа, созданная в Matlab. Программа позволяет обрабатывать АЭ информацию по таким параметрам как число циклов, амплитуда, частота, энергия сигналов и другие параметры АЭ [3, 4].

Таблица 1 – Состав образцов стали

Вещество	Fe	Cr	S	Ni	Mn	Si	P	C	Cu
Состав, %	основа	14,0-15,5	<0,030	3,50-5,50	≤1,00	≤1,00	<0,040	≤0,07	2,50-4,00

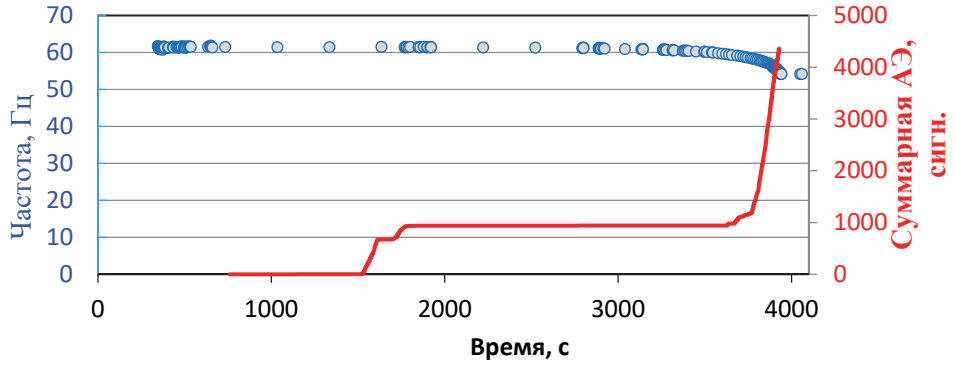
В таблице 2 представлены результаты механических испытаний, регистрируе-мые установкой.

Таблица 2 – Результаты испытаний на усталость образцов стали 15-5 PH

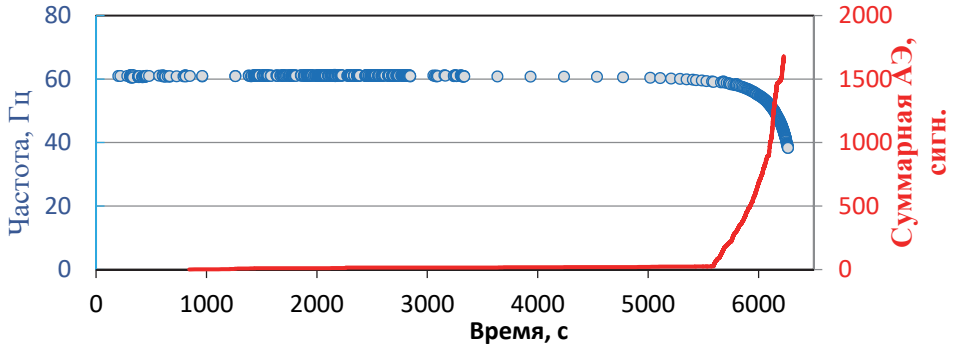
№ обр.	N, циклов	N_M, циклов	$f_н$, Гц	$f_к$, Гц	Δf, Гц
01	211282	150636	61,07	54,15	9,92
02	393769	219600	61,03	38,40	22,63
03	616423	564357	61,45	48,45	12,7

При этом, N – число циклов до разрушения или остановки, N_M – число циклов до начала снижения частоты колебаний, $f_н$ – начальная частота колебаний, $f_н$ – конечная частота колебаний. На рисунке 1 показано накопление суммарной дискретной АЭ, сопоставленной с диаграммой изменения частоты колебаний образца во времени. На рис. 2 приведены диаграммы регистрации амплитуды АЭ сигналов, совмещенные с диаграммами накопления суммарной АЭ.

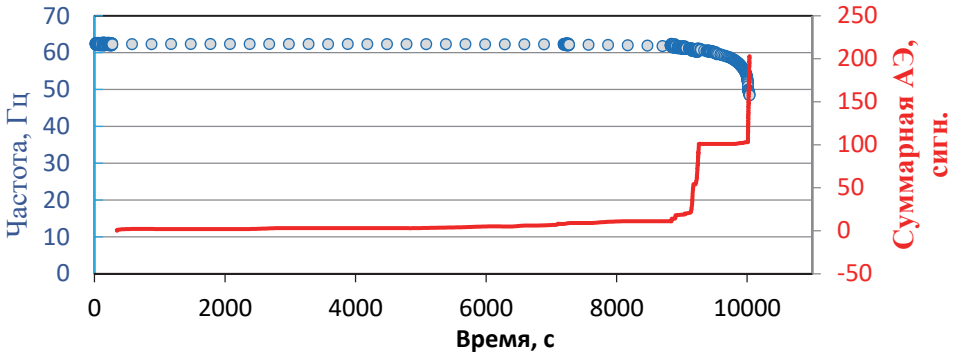
При достижении 209 тыс. циклов, после того как частота колебаний образца 01 в процессе испытаний снизилась на 5,5 Гц с 61 до 55,5 Гц (рис 1,а), амплитуда регистрируетмых сигналов в течение 990 с (примерно 59 тыс. циклов) постепенно возросла от 200 мВ до 1000 мВ (рис 2,а).



(а)



(б)



(в)

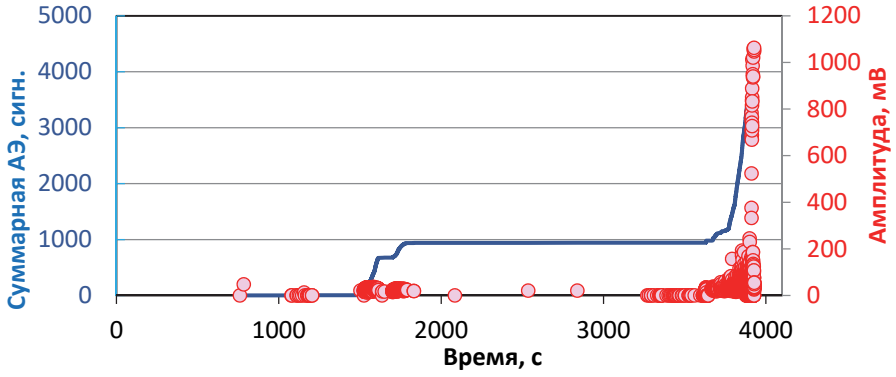
Рисунок 1 – Диаграммы зависимости суммарной АЭ (N) и частоты колебаний образца от времени: образец 01(а), образец 02 (б) , образец 03 (в).

В образце 02 после достижения 387 тыс. циклов, когда частота колебаний снизилась на 10 Гц с 61 до 51 Гц (рис 1,б), амплитуда регистрируемых сигналов в период 2808 с (примерно 167 тыс. циклов) повысилась от 200 мВ до 1200 мВ (рис 2,б). В образце 03 после достижения 387 тыс. циклов, когда частота колебаний снизилась на 0,8 Гц с 61,1 до 60,3 Гц (рис 1,в), амплитуда регистрируемых сигналов в течение 106 с (примерно 6 тыс. циклов) повысилась от 350 мВ до 1500 мВ (рис 2,в).

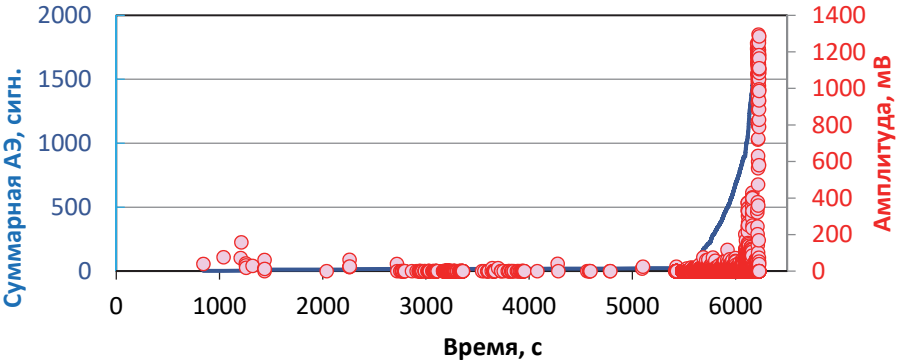
Приведенные результаты свидетельствуют о том, что в течение указанных периодов времени в каждом из образцов происходило зарождение и активный рост основной магистральной трещины. При этом, большее число зарегистрированных сигналов соответствует меньшей циклической долговечности спытанного образца. Это связано с тем, что при большей скорости роста трещины регистрируются сигналы АЭ с большей амплитудой. Это вызывает регистрацию большего числа сигналов, превышающих установленный порог дискриминации. Также необходимо отметить, что наблюдается запаздывание начала активной регистрации сигналов АЭ, относительно момента начала роста магистральной трещины, что определяется по всей видимости скоростью ее роста.

После испытания были измерены размеры магистральных трещин, образованных при накоплении усталостных повреждений в каждом из образцов. Известно, что образова-

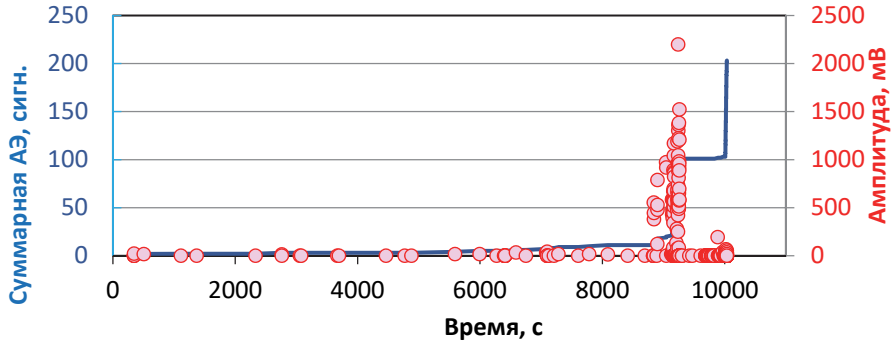
ние дефектов типа трещин приводит к изменению частоты собственных колебаний твердых тел. На рис. 3 приведена диаграмма зависимости, определяющая связь между изменением частоты резонансных колебаний образца Δf и самой длинной магистральной трещиной L, выявленной после испытания.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 2 – Диаграммы зависимости суммарной АЭ (N) и амплитуды от времени : образец 01(а), образец 02 (б) , образец 03 (в).

На диаграмме рис. 3 зависимости наблюдается прямая пропорциональная между Δf и L, что свидетельствует о наличии устойчивой связи между параметрами усталостного разрушения стали.

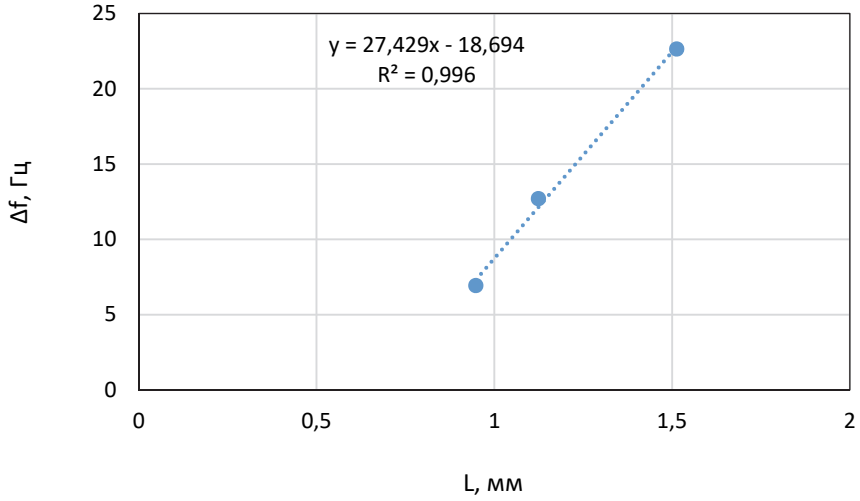


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости Δf(Lтр.)

По результатам исследования можно отметить, что большее число сигналов регистрируется при усталостном испытании образцов с меньшей долговечностью, что связано с большей скоростью роста магистральной трещины и регистрацией сигналов большей амплитуды. Изменение частоты резонансных колебаний при усталостном испытании находится в прямой пропорциональной зависимости от длины растущей магистральной трещины при соблюдении равных условий испытания.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 24-29-00838).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мыльников, В. В. Циклическая прочность и долговечность конструкционных материалов / В. В. Мыльников, О. Б. Кондрашкин, Д. И. Шетулов. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. – 177 с. – ISBN 978-5-528-00289-7. – EDN YMNUEP.

2. Методика испытания образцов стали 12Х18Н10Т, полученных 3D печатью, на циклическую долговечность / З. О. Чжо, О. В. Башков, А. А. Бурдасова, Т. И. Башкова // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 152-154. – EDN QVQIKA.

3. Experimental validation of identification crack propagation in plates as a source of acoustic emission / H. H. Khon, O. V. Bashkov, T. I. Bashkova, A. A. Bryansky // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 200. – P. 77-86. – DOI 10.1007/978-3-030-69421-0_9. – EDN TIIJDI.

4. Khon, H. The study of acoustic emission waves generated from different types of sources / H. Khon, O. V. Bashkov // Materials Today: Proceedings : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 19. – Sevastopol: Elsevier Ltd, 2019. – P. 2243-2247. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.07.544. – EDN KCGATL.

УДК 658.512.22

Шабалин Анатолий Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shabalin Anatoly Mikhailovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Серебренникова Анжела Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Машиностроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Serebrennikova Anzhela Gennadievna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University

МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕМОНТА ПОВРЕЖДЕНИЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

MOBILE DEVICE FOR REPAIRING DAMAGES IN COMPOSITE MATERIALS

Аннотация. В последние годы в технологиях авиастроения активно применяются композиционные материалы. Композиционные материалы привносят в авиацию много полезного - они увеличивают прочность деталей, снижают их вес и подверженность коррозии, а также позволяют сократить количество деталей. Увеличение объема их применения требует разработки новых и совершенствования существующих технологий ремонта. Кроме того, сотовые конструкции являются наиболее тонкостенными, выходящими на наружный контур летательных аппаратов. Они более других чувствительны к сосредоточенным нагрузкам, часто повреждаются от попаданий посторонних предметов. В процессе эксплуатации выявляются скрытые дефекты, которые не были обнаружены при производстве конструкций. Поэтому основное условие при проведении ремонта в авиации – восстановление исходных данных прочностных и аэродинамических характеристик летательного аппарата. В полной мере это может быть достигнуто применением технологии постановки ремонтной детали (заплаты) с использованием препрегов, пленочных и пастообразных клеев с обеспечением необходимой температуры и давления для формования или приклеивания ремонтной детали. Данные действия возможны только при использовании специального оборудования. Не всё такое оборудование имеет небольшие габариты и возможность установки в любом месте ремонтируемого изделия (самолет, корабль, катер и так далее). Поэтому, разработка мобильных, небольших по размеру, устройств для ремонта, является актуальной задачей.
Abstract. In recent years, composite materials have been actively used in aircraft manufacturing technologies. Composite materials bring many benefits to aviation - they increase the strength of parts, reduce their weight and susceptibility to corrosion, and also allow to reduce the number of parts. Increasing the volume of their application requires the development of new and improvement of existing repair technologies. In addition, honeycomb structures are the thinnest-walled, extending to the outer contour of aircraft. They are more sensitive than others to concentrated loads, often damaged by foreign objects. During operation, hidden defects are revealed that were not detected during the production of structures. Therefore, the main condition for repairs in aviation is the restoration of the original strength and aerodynamic characteristics of the aircraft. This can be fully achieved by using the technology of installing a repair part (patch) using prepregs, film and paste adhesives while ensuring the necessary temperature and pressure for molding or gluing the repair part. These actions are possible only with the use of special equipment. Not all such equipment has small dimensions and the ability to be installed anywhere on the product being repaired (aircraft, ship, boat, etc.). Therefore, the development of mobile, small-sized devices for repair is a pressing issue.
Ключевые слова: композитный материал, дефект, самолёт, препрег, вакуум, стойка, термоодеяло, температура, усилие
Key words: composite material, defect, aircraft, prepreg, vacuum, rack, thermal blanket, temperature, force

В процессе эксплуатации изделия, выполненного из композиционного материала, могут возникать различного рода дефекты. Это от полного разрушения целостности всей конструкции до незначительных дефектов, которые без надлежащего ремонта снижают прочностные характеристики детали. К таким дефектам относятся – дефекты, возникшие от столкновений, удара и прочее. На рисунке 1 представлены виды дефектов в авиационной технике.

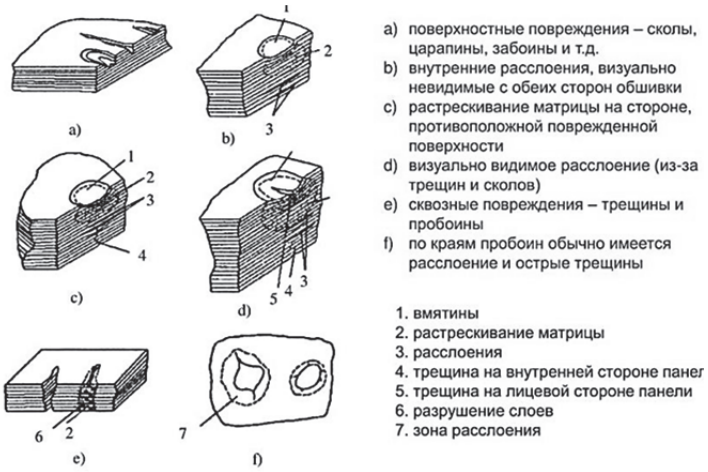


Рисунок 1 – Виды эксплуатационных дефектов

В случае невозможности заменить элемент самолета, разобрать его, необходимо применять местные, мобильные установки, которые позиционируют в область дефекта. Но таких установок в Росси пока мало, да и в связи с тем, поставки зарубежного оборудования закончились (российские санкции), возникла острая необходимость в создании собственного подобного рода оборудования.

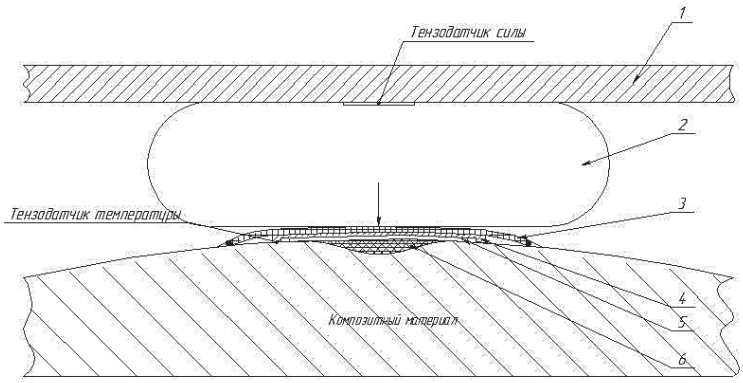
Любые новые устройства всегда основываются на работе уже существующих аналогов [1,3,4]. Основной и известный метод устранения дефектов в композиционных материалах, это использование препрегов.

Препрег – это полуфабрикат композиционного материала, состоящий из волокнистого армирующего наполнителя и нанесённого с двух сторон связующего. Используют в первую очередь армирующий наполнитель из стеклянных и углеродных волокон. Связующее может иметь эпоксидную основу (или другой реактопласт, например фенольное связующее), может быть изготовлено на основе термопластов – полиэтилена или ПЭТФ. В зависимости от связующего, препрег может быть мягким и липким (эпоксидная основа) или жёстким и скользким (ПЭТФ).

Все методы ремонта основаны на нагреве зоны ремонта. Данной действие устранить нельзя, потому что «лечение» основывается на заполнении пустоты дефекта «лечащим» материалом-препрегом, по структуре и составу, похожим на КМ и благодаря нагреву, область дефекта получает слой материала, имеющим такие же по свойства как и исходный материал. На рисунке 2 представлена схематично общая схема мобильного устройства. Принцип работы данной установки следующий:

Сначала формируются все слои над зоной дефекта: на поверхность из композитного материала, в зону дефекта укладывается препрег 6, затем на него накладывается «жертвенный» слой 5, который будет удален после окончания работ и сама поверхность будет отшлифована. Сверху эта зона укрывается термоодеялом 4, к которому присоединён датчик температуры, подающий параметр температуры на крышку прибора устройства. Далее, накладывается вакуумная полотно 3, которое клеится герметично к корпусу изделия, которое имеет штуцер, для выкачивания воздуха, то есть, создания вакуума. После того, как все слои уложены, приклеено вакуумное полотно, можно приступать к установке самого устройства. Сначала укладывается пневмоклин в ненакачанном состоянии, который в последствии и будет давать необходимую силу давления в зону ремонта. Зачем устанавливается сама рама с ножками, которые регулируются по высоте. Базируются лапы (рисунок 3), находится оптимальное положение, угол наклона и так далее. После того, как вся конструкция установлена, начинается процесс закрепления лап к поверхности. Все лапы имеют шланг к компрессору и штуцер через который идёт откачка воздуха.. На лицевой панели имеются четыре кнопки для этого. После того, как устройство присоединено к поверхности, подается сигнал компрессору на откачку воздуха из-под полотна. Термоодеяло начинает нагревать зону ремонта, а пневмоклин 2 надуваться. Так как лапы устройства крепко держаться за поверхность, рама не дает пневмоклину выйти из зоны ремонта и он начинает

давить с силой на зону ремонта, тем самым происходит «лечение» зоны дефекта на поверхности [2,3].



1 – конструкция рамы; 2 – пневмоклин (в накачанном состоянии); 3 – вакуумное полотно; 4 – термоодеяло; 5 – «жертвенный» слой; 6 – препрег

Рисунок 3 – Общая схема работы мобильного устройства

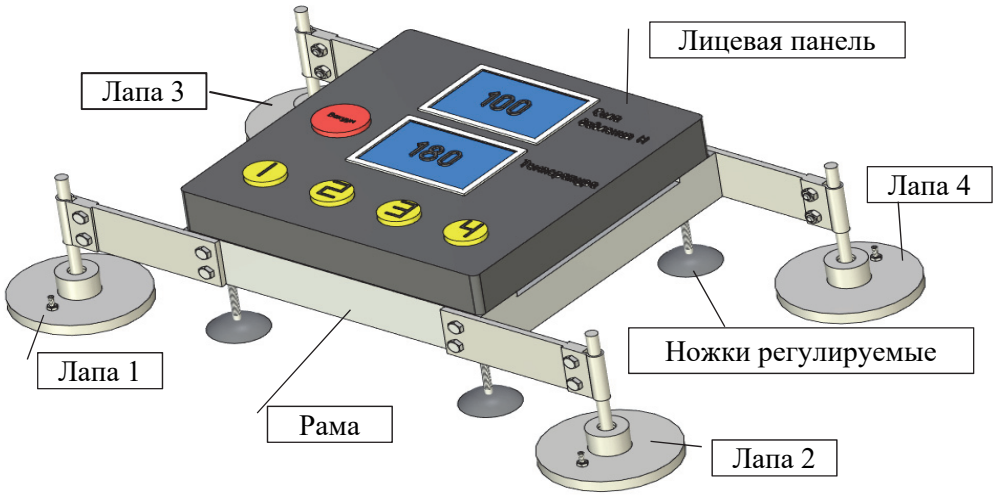


Рисунок 4 – Принципиальная схема мобильного устройства

Конструкция рамы изготавливается из алюминиевого квадратного полотна полотна Д16, шириной 40х20 мм, толщиной 3 мм. Крепление всех частей рамы через болты и шайбы размером М6.

Лицевая панель, кнопки печатается на 3D-принтере из ABS-пластика.

Большой проблемой таких устройств считается момент крепления к неровной поверхности, так как прибор будет «местно» прикрепляться к поврежденной поверхности, может быть и под наклоном.

На рисунке 5 представлена конструкция лапы.

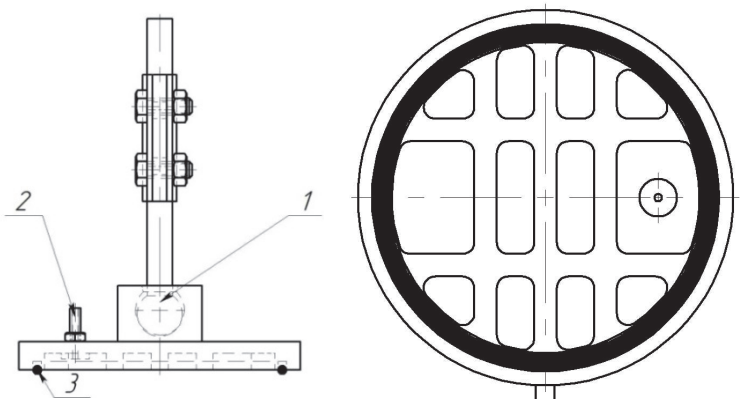


Рисунок 6 – Конструкция лапы

Лапы изготавливаются круглыми ⌀100 мм, материал капролон. Он легкий и удобный при обработке. На поверхности лапы фрезеруются фрезой ⌀6 мм, канавки, под герметичную резину 3, которая приклеивается по кругу лапы, а на поверхности лапы делают проточки, благодаря которым после откачки воздуха из лапы с помощью штуцера 2, в них создается вакуум, и лапы крепко держится за любую поверхность. Так как поверхность ремонта может быть и неровной, в конструкции лапы предусмотрена «качающая» ось 1, которая позволяет наклоняться лапе на нужный угол и в нужную сторону.

«Головой» устройства, конечно, же, нужно считать электронную начинку. За основу была взята плата Arduino MEGA 2560 как плата с наибольшим количеством портов, необходимых для подключения управляемых элементов. В заключении можно сказать, что разработанное устройство полностью решает поставленную задачу. С точки зрения экономических расходов, средств на его производство будет затрачено в сотни раз меньше. Это если за основу брать цену существующего аналога импортного производства при цене 30 000 тыс. долларов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фирсова, А. В. Анализ технологии ремонта корпуса судна из полимерных композиционных материалов / А. В. Фирсова, А. С. Бачев // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 3-1(57). – С. 102-108. – DOI 10.37220/MIT.2022.57.3.013. – EDN LCFNOJ.

2. Парфеновская, О. А. Восстановление сотовых конструкций и элементов воздушного судна, выполненных из композиционных материалов в процессе их эксплуатации / О. А. Парфеновская, М. Р. Мишкин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2024. – № 6. – С. 13-17. – DOI 10.31044/1684-2561-2024-0-6-13-17. – EDN SZSHUR.

3. Нелюб, В. А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек В. А. НЕЛЮБ / В. А. Нелюб // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2013. – № 5. – С. 21-24. – EDN PZGZEJ.

4. Малая, Е. В. Ремонт композиционных материалов в современной авиации / Е. В. Малая, А. И. Саввин, А. В. Саввина // Молодой исследователь Дона. – 2024. – Т. 9, № 5(50). – С. 16-21. – EDN FCKNLG.

УДК 621.791.92; 621.791.754.4

Шанин Рустам Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Shanin Rustam Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Григорьев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Grigorev Vladimir Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДУГОВЫХ АДДИТИВНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

COMPARATIVE ANALYSIS OF ADDITIVE METAL ARC TECHNOLOGIES

Аннотация. В настоящей статье описаны известные способы дугового аддитивного выращивания металлических изделий. Дуговые аддитивные металлические технологии включают несколько подходов, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Рассмотрены основные методы дуговых способов, а также проведен их сравнительный анализ. Проведение анализа способствовало сравнить и описать каждый из способов наплавки. Целью анализа, было выявить, какой из способов обладает наилучшими характеристиками и свойствами в процессе дуговой наплавки металлических изделий.
Abstract. This article describes known methods of additive arc cultivation of metal products. Additive metal arc technologies include several approaches, each of which has its own characteristics, advantages and disadvantages. The main methods of arc methods are considered, as well as their comparative analysis. The analysis made it possible to compare and describe each of the surfacing methods. The purpose of the analysis was to identify which of the methods has the best characteristics and properties in the process of surfacing metal products.

Ключевые слова: металлические изделия, аддитивные технологии, дуговые способы, аддитивное производство, преимущества и недостатки.
Keywords: metal products, additive technologies, arc methods, additive manufacturing, advantages and disadvantages.

Внедрение аддитивных дуговых технологий является ключевым фактором прогресса в современной промышленности. Они позволяют оптимизировать производственные циклы, значительно уменьшить затраты ресурсов и снизить себестоимость продукции.

Развитие аддитивных дуговых технологий в промышленности способствует расширению ассортимента металлических изделий сложной формы, однако при производстве дуговым выращиванием существуют следующие проблемы: необходимость наплавки на стальную подложку, высокий параметр шероховатости получаемых изделий, наличие заваливания наплавленных валиков под действием сил тяжести. В условиях современных требований аддитивные технологии дугового выращивания также должны обеспечивать минимальные временные затраты на перенастройку оборудования и оснастки [1].

На сегодняшний день в аддитивном производстве наиболее известными дуговыми способами получения металлических изделий являются следующие технологии выращивания: GMAW – дуговая наплавка плавящимся электродом в защитном газе, GTAW – дуговая наплавка неплавящимся вольфрамовым электродом в защитном газе, PAW – плазменнодуговая наплавка. Перечисленные технологии относятся к аддитивным технологиям с использованием сварочной проволоки в качестве основного материала выращиваемого изделия [2]. Наиболее востребованным методом аддитивного производства является послойное электродуговое наращивание с применением проволоки (WAAM), благодаря оптимальному сочетанию высокой эффективности и экономичности производственного процесса.

За основу технологии аддитивного дугового выращивания металлических изделий взяты автоматические и полуавтоматические способы сварки с использованием инертных и активных газов. Дуговое выращивание изделий является наиболее экономичным способом аддитивных технологий, так как позволяет использовать имеющееся сварочное оборудование и вспомогательные сварочные материалы, однако для создания технологии необходимо наличие станка с числовым программным управлением или роботизированного комплекса. В настоящее время основной проблемой для широкого внедрения на машиностроительные предприятия аддитивного дугового выращивания является низкое обеспечение гомогенности структуры получаемого изделия, в связи с большими скоростями охлаждения при наплавке. Авторы работы предполагают, что для обеспечения гомогенности структуры необходима разработка специализированного станка для аддитивной дуговой наплавки, который позволил бы выполнять наплавку в среде активных и инертных газах в камере с контролируемой средой, а в качестве подложки использовать специальные материалы, которые бы не обеспечивали сплавление наплавленного изделия с подложкой. Кроме того, можно применять графитовые ограничители для снижения параметра шероховатости получаемого изделия. Перед проведением наплавки также возможно выполнять компьютерное моделирование температурных полей [3], что позволит прогнозировать изменение структуры и свойств в каждом наплавленном валике (рисунок 1).

а) б)

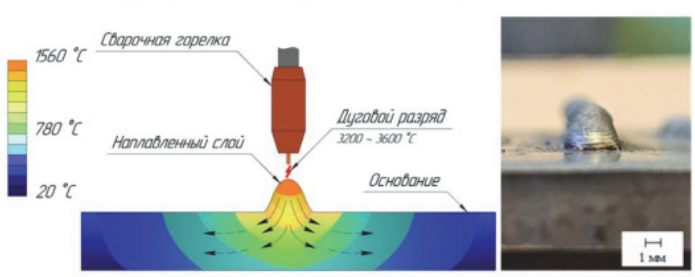


Рисунок 1 – Распределение температуры при электродуговой аддитивной наплавке первого слоя: а – схема распределения температуры; б – общий вид [3]

Основными направлениями при применении технологий дуговой наплавки плавящимся электродом в защитном газе и плазменнодуговой наплавки является исключение избыточного тепловложения в подложку и наплавляемые слои [2]. Для минимизации тепловложения возможно использование пульсирующей дуги при аддитивном выращивании, а также применение предварительного и сопутствующего подогрева изделий непосредственно в процессе наплавки. Если сравнивать технологию аргонодуговой наплавки (GTAW) с применением неплавящегося электрода и технологию дуговой наплавки с применением плавящегося электрода (GMAW), то, несомненно, технология GTAW хоть и является низкопроизводительной, но она позволяет получать высокое качество поверхности с минимальной шероховатостью и гомогенную структуру наплавленного металла. Кроме того, автоматизация процесса GTAW сложнее и менее развита, чем в случае GMAW [3]. На рисунке 2 изображен процесс аддитивной наплавки неплавящимся электродом по технологии GTAW.



Рисунок 2 – Процесс аддитивной дуговой наплавки способом GTAW [3]

Наиболее отличительным способом дугового выращивания является применение плазменной дуговой наплавки (PAW). При применении данной технологии используется фокусирующая насадка с неплавящимся вольфрамовым электродом (рисунок 3). В процессе наплавки возбуждается тонкая, сфокусированная электрическая дуга, что приводит к увеличению тепловой энергии и росту тепловложения [3]. Повышенное тепловложение и сфокусированная электрическая дуга позволяют выполнять наплавку с большой скоростью выращивания металлического изделия.

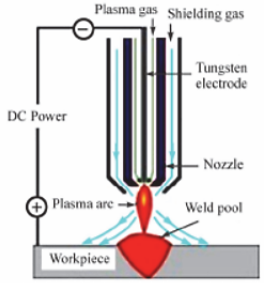


Рисунок 3 – Схема процесса аддитивной плазменно-дуговой наплавки [4]

Кроме перечисленных способов известен способ холодного переноса металла (Cold Metal Transfer – CMT). При применении данной технологии обеспечивается минимальное тепловложение в подложку и наплавленные слои. Характерный макрошлиф при применении данной технологии представлен на рисунке 4. Главным недостатком CMT-процесса является необходимость точного контроля термического режима, и управления процессами. При недостаточном контроле могут возникать дефекты, такие как пористость, термические напряжения и неравномерное распределение металла [5].

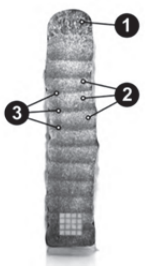


Рисунок 4 – Макрошлиф поперечного сечения наплавки [2]
1 – последний проход наплавки; 2 – наплавленный металл промежуточных слоев;
3 – зона сплавления отдельных валиков

Проведенный анализ способов выращивания металлических изделий позволил выявить основные преимущества и недостатки популярных аддитивных технологий с использованием электрической дуги, что позволит учесть их в разрабатываемой технологии послойного выращивания изделий. Перспективой дальнейших исследований является использование технологии GTAW для выращивания биметаллических изделий (сталь 12Х18Н10Т + сталь 3) с применением станка, разработанного на кафедре ТСМП имени В.И. Муравьева ФГБОУ ВО КнАГУ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Какорин, Д. Д. Способ аддитивного производства металлических изделий / Д. Д. Какорин, А. Ю. Лаврентьев, Б. И. Марголис // Интеллектуальные системы в производстве. – 2023. – Т. 21, № 4. – С. 75-80. – DOI 10.22213/2410-9304-2023-4-75-80. – EDN RXNJEV.

2. Коротеев, А. О. Аддитивная технология создания объемных металлических изделий на основе дуговой сварки с импульсной реверсивной подачей присадочного материала / А. О. Коротеев, В. П. Долячко, В. П. Куликов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2019. – № 4(65). – С. 15-25. – DOI 10.53078/20778481_2019_4_15. – EDN MEAWBJ.

3. Какорин, Д. Д. Оптимизация режимов послойного наплавления для аддитивного производства металлических изделий / Д. Д. Какорин, А. Ю. Лаврентьев, Б. И. Марголис // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 4. – С. 550-554. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-4-550-551. – EDN JFBWTW.

4. Какорин, Д. Д. способы послойного синтеза металлических изделий / Д. Д. Какорин, А. Ю. Лаврентьев // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 3(11). – С. 24-33. – DOI 10.46573/2658-5030-2021-24-33. – EDN JQOPFA.

5. Муканов, Э. М. Методы 3D-печати металлами / Э. М. Муканов // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2023. – № 15. – С. 121-127. – DOI 10.26160/2309-8864-2023-15-121-127. – EDN SEUNZW.

СЕКЦИЯ

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.314
Абрамов Александр Александрович, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Abramov Alexander Alexandrovich, graduate student, Komsomolsk-na-Amur State University
Щетинин Станислав Игоревич, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Shchetinin Stanislav Igorevich, graduate student, Komsomolsk-na-Amur State University
Иванов Сергей Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ivanov Sergey Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Docent of the Department of Electromechanics, Komsomolsk- na-Amur State University

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭЛЕМЕНТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, КОММУТАЦИОННЫХ И ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ

THE IMPACT OF CLIMATIC FACTORS ON ELEMENTS OF POWER TRANSMISSION LINES, SWITCHING AND PROTECTIVE DEVICES

Аннотация. Рассмотрено влияние внешних климатических факторов на токоведущие элементы системы электроснабжения. Основная цель представленного исследования заключена в анализе степени влияния температуры на элементы. Представлен современный метод статистического анализа, для оценки результатов влияния температуры, полученных экспериментальным путём.
Annotation. The influence of external climatic factors on the current-carrying elements of the power supply system is considered. The main purpose of the presented study is to analyze the degree of influence of temperature on the elements. A modern statistical analysis method is presented to evaluate the results of temperature influence obtained experimentally.
Ключевые слова: климатические факторы, системы электроснабжения, изоляция, линия электропередач.
Key words: climatic factors, power transmission line, switching device, protective equipment, insulation.

Анализу влияния изменяющихся климатических факторов на показатели работоспособности систем электроснабжения и их элементов уделяется внимание многих научных исследований [1-3].

Определяющим внешним фактором является температура, которая влияет на физические и электрические характеристики всех материалов, и в первую очередь - изоляционных. Температура нелинейно связана со свойствами пропиточных масел и смазочно-охлаждающих средств, твёрдых изоляционных и связующих веществ. Повышение температуры негативно сказывается на прочностных свойствах деталей из органических полимеров (поливинилхлорид, винипласт, сшитый полиэтилен и т.д.), приводит к необратимым деформациям даже под воздействием собственного веса, не говоря уже о внешних нагрузках.

В диэлектриках это связано с увеличением тангенса угла диэлектрических потерь tgδ, ведущего к снижению удельных поверхностного и объёмного сопротивлений, уменьшению электрической прочности и, как следствие, возникновению пробоя.

С увеличением температуры изменение параметров металлов и сплавов происходит менее заметно, но также связано с нарушением номинальных режимов работы электрических приемников. Степень влияния определяется различием коэффициентов теплового расширения, которые у изоляционных материалов находятся в очень широком диапазоне, если сравнивать, например, кварц и полиэтилен, а для металлов и спла-

вов инвар и цинк. Т.е. с повышением температуры изменяются размерные соотношения, ослабевают соединения между деталями и узлами, возрастают деформации конструктивных элементов, в том числе изоляционных. Особенно часто наблюдается изменение геометрии посадочных мест и установочных параметров, что приводит при недостаточной жесткости приводит к заклиниванию сопрягаемых элементов, что типично при наличии смежных изделий из пластиковых и металлических материалов с различными коэффициентами температурного расширения [4].

На практике давно принято оценивать влияние температуры с использованием общей теории кинетики химических реакций, приведенной в [5]. Увеличение температуры электроизоляционных материалов на каждые 8…12 °С выше установленного предела приводит к сокращению их эксплуатационного срока в 2 раза. Однако понижение температуры тоже не однозначно сказывается на работе систем электроснабжения, может привести к образованию трещин, охрупчиванию, изменению формы, существенным отклонениям в расположении поверхностей, разрушениям, ухудшению функционирования подвижных частей вплоть до их заклинивания.

Для открыто размещаемого оборудования (распределительные устройства, комплектные трансформаторные подстанции и т.д.) особенно в летние месяцы требуется учет инсоляции. К значительным тепловым эффектам приводит длинноволновая часть спектра солнечного света, включающая инфракрасное излучение. В то же время коротковолновая часть (ультрафиолетовые лучи) ускоряет фотохимические реакции, ведущие к разрушению резины, каучука, целлюлозы и других материалов с органическими компонентами, а также солнечная радиация провоцирует процессы коррозии металлических изделий и сплавов.

Другим климатическим фактором является влажность (особенно при совестном воздействии с высокими температурами). При наличии влаги развивается процесс коррозии металлосодержащих элементов, материалы на основе бумаги, капрона (текстолит, гетинакс) начинают поглощать жидкую фазу, это приводит к снижению сопротивления и возрастанию tgδ. Кроме того, изоляционные материалы адсорбируют влагу на поверхности с образованием электропроводящих пленок. При высоких температурах вода преобразуясь в пар механически разрушает материалы, аналогичный эффект наблюдается при переходе жидкости в твердую фазу. На практике известны случаи образования проводящих связей в печатных платах вследствие заполнения проводящей средой трещин, каналов, пустот в структуре диэлектриков. Воздействие влаги в переключателях увеличивает диэлектрические потери, хотя с другой стороны снижает переходное сопротивление контактов. В системах изоляции кабельных конструкций происходит снижение электрической прочности, ухудшение изоляционных свойств, возрастание токов утечки и паразитных емкостей монтажа.

Отдельную проблему вызывают климатические зоны с содержанием агрессивных веществ, территории с влажным морским климатом, являющиеся катализатором действия рассматриваемых факторов на внешние компоненты систем электроснабжения.

Дополнительного изучения требуют вопросы влияния таких воздействий как, иней, туман (в том числе соляной), снег, гололедные образования, характеризующиеся способностью проникать в конструкции и приводить к интенсивной коррозии и разрушению.

В ряде случаев при размещении электрооборудования необходим учет изменения атмосферного давления (на каждые 10 м подъёма снижение давления составляет около 133 Па), влияющего на интенсивность теплоотвода от теплоаккумулирующих элементов оборудования, электрическую прочность воздуха, напряженно-деформированного состояния оболочек герметичных электроустановок. Учет процентного содержания и состава пыли, имеющей высокую проникающую способность или накапливаемой на поверхности электрооборудования, необходим, поскольку приводит

к образованию токопроводящих участков и снижению сопротивления изоляционного материалов.

Оценить влияние всех факторов на работу элементов систем электроснабжения чрезвычайно сложно. Ниже рассматривается определяющее воздействие – температура.

Температура элементов электрической сети зависит от большого числа сложно связанных и взаимовлияющих факторов. В данном исследовании учтены только определяющие параметры, значительно влияющие на значения нестационарных и установившихся температур.

У любого элемента, температуру можно определить, применяя уравнение теплового равновесия:

$$q_{\text{конв}} + q_{\text{изл}} + q_{\text{тепл}} = q_{\text{солн}} + 3I^2R(\Theta) + \Delta P_{\text{пост}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{конв}}$, $q_{\text{изл}}$ и $q_{\text{тепл}}$ – количество теплоты, отдаваемое элементом сети в окружающую среду конвекцией, излучением и теплопроводностью соответственно; $q_{\text{солн}}$ – поток солнечной радиации, поглощаемый элементом сети; I – ток нагрузки; $R(\Theta)$ – активное сопротивление элемента, приведенное к фактической температуре Θ; $\Delta P_{\text{пост}}$ – условно-постоянные потери активной мощности внутри элемента сети.

Выражение (1) в общем контексте демонстрирует, как ведет себя каждый элемент системы. Однако для отдельного элемента можно опустить некоторые составляющие, если они имеют малую значимость. При этом некоторые компоненты начинают вести себя специфическим образом лишь под воздействием экстремально высоких напряжений, что касается, в частности, воздушных линий электропередачи.

Так, уравнение (1) применительно для воздушной линии электропередачи имеет вид:

$$\Delta p_0'(1+\alpha\Theta_{\text{ж}}) = d_{\text{пр}}\lceil\pi\alpha_{\text{вын}}\left(\Theta_{\text{внеш}} - \Theta_{\text{окр}}\right) + \pi\varepsilon C_0\left(T^4 - T^4_{\text{внеш}}\right) - A_s q_{\text{солн}}, \quad (2)$$

где $\Delta p'_0$ – потери активной мощности при 0 °С на единицу длины; α – линейный температурный коэффициент сопротивления; $\Theta_{\text{ж}}$ – температура токоведущей жилы; $d_{\text{пр}}$ – диаметр провода; $\alpha_{\text{вын}}$ – коэффициент теплоотдачи провода (вынужден- ной конвекцией); $\Theta_{\text{внеш}}$, $\Theta_{\text{окр}}$ – температура внешней поверхности провода и окружающей среды соответственно; $T_{\text{внеш}}$, $T_{\text{окр}}$ – абсолютные температуры внешней поверхности провода и окружающей среды соответственно; $\varepsilon_{\text{п}}$, A_s – степень черноты поверхности провода и поглощательная способность поверхности для солнечной радиации; $C_0 = 5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/(м$^2\cdot$К^4) – постоянная Стефана-Больцмана; $q_{\text{солн}}$ – плотность потока солнечной радиации на поверхность провода [6].

Формула (2) применима для неизолированных проводов, при условии, что температура внешней поверхности совпадает с температурой проводника.

Для изолированных проводов в выражении (2) температура токоведущей жилы:

$$\theta_{\text{ж}} = \frac{\theta_{\text{внеш}} + \Delta P_0 \cdot S_{\text{из}}}{1 - \alpha\Delta P_0 \cdot S_{\text{из}}},$$

где $S_{\text{из}}$ – тепловое сопротивление изоляции;

Δp_0 – потери активной мощности в токопроводящей жиле при 0 °С на единицу длины ($\Delta p_0 \neq \Delta p'_0$ – для изолированных проводов);

для изолированного провода параметр $\Delta p'_0$:

$$\Delta P_0' = \frac{\Delta P_0}{1 - \alpha\Delta P_0 \cdot S_{\text{из}}}.$$

Проблема точного учета влияния температуры связана со сложной структурой системы электроснабжения и широкой номенклатурой используемых изоляционных материалов.

Поэтому на практике более точным является оценка влияния температуры, полученная экспериментальным путем с последующей обработкой результатов статистическими методами. Объем эксперимента и затраты на его проведение зависят от количества выбранных факторов. Важно выбрать существенные факторы, т.е. те, которые в основном

определяют процесс старения изоляционных материалов при эксплуатации электрооборудования. Из всего многообразия эксплуатационных факторов выбор основных можно осуществить либо проведением отсеивающих экспериментов, либо путем анализа априорной информации [7].

При планировании эксперимента одним из основных требований к воздействующим факторам является требование их управляемости. В качестве входных переменных матрицы планирования (воздействующих факторов) выбирается температура обмотки (X_1) и время (X_2), т. к. процесс старения протекает во времени. Определение уровней и диапазонов изменения входных переменных осуществляется с учетом эксплуатационных условий, необходимой скорости проведения испытаний и требований, вытекающих из условий эксперимента.

В качестве результирующего показателя эксперимента, количественно описывающего процесс формирования дефектов в изоляции, рассматривается увеличение дефектности изоляционного материала $\Delta\lambda$ после определенного числа часов в соответствии с установленным планом эксперимента.

Увеличение дефектности рассчитывается с учетом разных механизмов образования дефектов и основывается на сравнительном анализе значений напряжений перекрытия, полученных от образцов с искусственно созданными дефектами, и значений напряжений перекрытия, приведенных на рисунке 1.

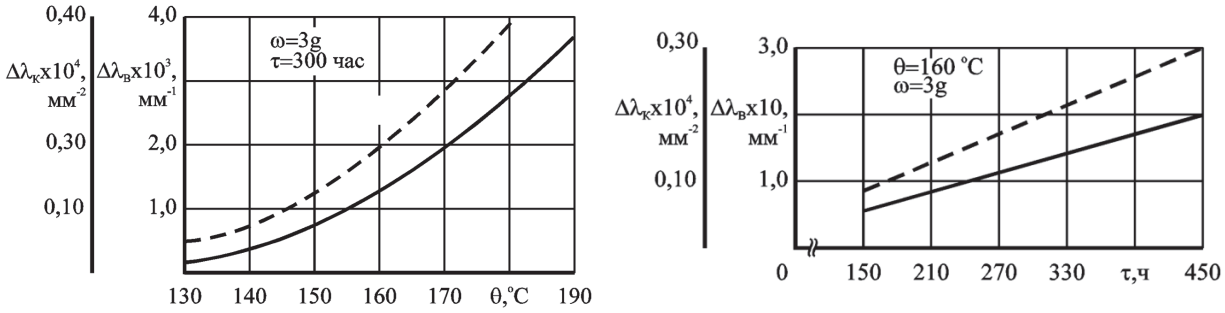


Рисунок 1 - Зависимость приращения дефектности изоляции от температуры обмотки (а) и времени старения (б):
—— - эмалевая изоляция; – – – - поливинилхлоридная изоляция

Регрессионные уравнения, отражающие выявленные зависимости с учетом значимости коэффициентов в закодированных значениях входных переменных, имеют следующий вид:

$$\Delta\lambda э = (1{,}27 + 0{,}1095X_1 + 0{,}9753X_2 + 0{,}1993X_{12})\ 10^{-3},\ мм^{-1};$$
$$\Delta\lambda п = (1{,}835 + 0{,}1059X_1 + 1{,}349X_2 + 0{,}3267X_{12})10^{-5},\ мм^{-2}.$$

При разработке новых устройств инженерам крайне важно не только знать пределы допустимых значений воздействия климатических факторов, которые обеспечивают надежность работы, но и обладать исчерпывающей информацией о том, как характеристики элементов изменяются под воздействием этих факторов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пак, В.М. Современное состояние и перспективы развития систем изоляции крупных электрических машин /В.М. Пак, И.Е. Куимов // Электротехника. - 2011. - № 4. - С. 2-7.

2. Худоногов, А.М. Анализ надежности изоляции обмоток электрических машин тягового подвижного состава с учетом особенностей климатических условий внешней среды / А.М. Худоногов, Д.А. Оленцевич, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока №2, 2009. - С. 232 - 236.

3. Рыжова, Е.Л. Оценка надежности тяговых двигателей на основе состояния электрической изоляции обмотки / Е.Л. Рыжова, К.К. Ким, Иванов С.Н. // Ученые записки КнАГТУ. – 2023. – № V (69). – С. 8-14.

4. Шепелев, А.О. Применение метода внутренней температурной коррекции для расчёта установившихся режимов электроэнергетических систем с учётом тепловых процессов в элементах / А.О. Шепелев // Промышленная энергетика. 2020. № 9. С. 9 – 19. DOI: 10.34831/EP.2020.41.23.002.

5. Штиллер В. Уравнение Аррениуса и неравновесная кинетика / В. Штиллер. – Москва : Мир, 2000. — 176 с.

6. Гиршин, С.С. Математическая модель расчёта потерь мощности в изолированных проводах с учётом температуры / С.С. Гиршин и [др.]. // Омский научный вестник. 2009. № 3(83). С. 176 – 179.

7. Иванов, С. Н. Надежность электроснабжения : Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02, 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» / С. Н. Иванов, А. А. Скрипилев. – Вологда : Инфра-И, 2022. – 164 с. – ISBN 978-5-9729-0959-9. – EDN FSZFBX.

УДК 631.362.322

Азимов Хурсандмурод Хакимович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Azimov Khursandmurod Khakimovich, Postgraduate student, Komsomolsk-on-Amur State University
Ашрафджонзода Шамситабрези, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ashrafdzhonzoda Shamsitabrezi, Master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КПД ПРИВОДОВ ВОЗВРАТНО–ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

ANALYSIS OF METHODS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF A RECIPROCATING DRIVE

Аннотация. В статье рассматриваются методы повышения коэффициента полезного действия приводов возвратно-поступательного движения, широко используемых в промышленности и быту. Анализируются подходы к оптимизации традиционных механических, электромеханических и гидравлических приводов, включая оптимизацию конструкции, применение высококачественных материалов, эффективную смазку, использование энергоэффективных двигателей и насосов, рекуперацию энергии и сервогидравлические системы. Обозначены перспективные направления исследований, такие как разработка новых материалов, интеллектуальные системы управления и внедрение инновационных технологий, направленные на повышение энергоэффективности и снижение эксплуатационных расходов.

Abstract. The article discusses methods for increasing the efficiency of reciprocating drives, which are widely used in industry and everyday life. The approaches to optimizing traditional mechanical, electromechanical, and hydraulic drives are analyzed, including design optimization, the use of high-quality materials, efficient lubrication, the use of energy-efficient motors and pumps, energy recovery, and servo-hydraulic systems. Promising areas of research are outlined, such as the development of new materials, intelligent control systems and the introduction of innovative technologies aimed at improving energy efficiency and reducing operating costs.

Ключевые слова: привод, возвратно – поступательное движение, КПД, энергоэффективность, оптимизация, рекуперация.

Key words: drive, reciprocating motion, efficiency, energy efficiency, optimization, recovery.

Приводы возвратно-поступательного движения являются неотъемлемой частью многих промышленных и бытовых устройств, таких как поршневые насосы, компрессоры, прессы и двигатели внутреннего сгорания. Они преобразуют вращательное движение в линейное, что позволяет выполнять механическую работу. Однако, эффективность таких приводов часто ограничена потерями энергии, связанными с трением, инерцией, вибрациями и другими факторами [1]. Повышение коэффициента полезного действия (КПД) привода возвратно-поступательного движения является актуальной задачей, так как это позволяет снизить энергопотребление, уменьшить износ деталей и повысить общую производительность системы [2]. Цель работы выявить наиболее перспективные направления для повышения энергоэффективности и снижения эксплуатационных расходов при использовании приводов возвратно-поступательного движения.

Традиционные механические приводы

Традиционные механические приводы возвратно поступательного движения преобразуют вращательное движение в возвратно-поступательное с помощью различных механизмов, таких как кривошипно-шатунные, кулачковые и рычажные. КПД этих приводов зависит от множества факторов, включая конструкцию механизма, качество изготовления деталей, смазку и условия эксплуатации [3].

Оптимизация конструкции: Снижение трения в сочленениях и оптимизация геометрии деталей позволяют минимизировать потери энергии. Использование подшипников качения вместо подшипников скольжения, выбор оптимальных углов рычагов и снижение массы движущихся частей также способствуют повышению КПД.

Применение высококачественных материалов: Использование материалов с низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью позволяет уменьшить потери энергии на трение и увеличить срок службы привода.

Смазка: Правильный выбор смазочного материала и организация эффективной системы смазки играют важную роль в снижении трения и повышении КПД.

Электромеханические приводы

Электромеханические приводы возвратно – поступательного движения преобразуют электрическую энергию во вращательное движение с помощью электродвигателя, которое затем преобразуется в возвратно-поступательное движение с помощью механического преобразователя. КПД таких приводов зависит от эффективности электродвигателя и механического преобразователя [4].

Применение энергоэффективных электродвигателей: Использование современных электродвигателей с высоким КПД (синхронных двигателей с постоянными магнитами, двигателей с электронным управлением) позволяет значительно снизить энергопотребление привода.

Оптимизация механического преобразователя: Выбор оптимального типа механического преобразователя (винтовая передача, шарико-винтовая передача, линейный двигатель) и оптимизация его конструкции позволяют минимизировать потери энергии на трение и увеличить точность позиционирования.

Использование рекуперации энергии: В некоторых случаях возможно использование рекуперации энергии при торможении, что позволяет возвращать часть энергии обратно в электрическую сеть.

Гидравлические приводы

Гидравлические приводы используют гидравлическую жидкость для передачи энергии от источника к исполнительному механизму. КПД таких приводов зависит от эффективности гидравлического насоса, гидравлического цилиндра и управляющей аппаратуры [5].

Применение энергоэффективных насосов: Использование насосов с регулируемой производительностью и высоким КПД (поршневые насосы с наклонным диском, насосы с электронным управлением) позволяет снизить энергопотребление привода.

Оптимизация гидравлической системы: Снижение гидравлических потерь в трубопроводах, клапанах и других элементах системы позволяет повысить КПД.

Использование гидроаккумуляторов: Гидроаккумуляторы позволяют накапливать энергию в периоды низкой нагрузки и отдавать ее в периоды высокой нагрузки, что снижает потребляемую мощность насоса и повышает КПД системы.

Использование сервогидравлических систем: Применение сервоклапанов с электронным управлением позволяет точно регулировать расход жидкости и повысить точность позиционирования, что в свою очередь способствует снижению энергопотребления.

Сравнительный анализ и перспективы

Каждый из рассмотренных типов приводов ВПД имеет свои преимущества и недостатки с точки зрения КПД, стоимости и других характеристик.

- Традиционные механические приводы отличаются простотой и надежностью, но имеют относительно невысокий КПД.
- Электромеханические приводы обеспечивают более высокую точность управляемость, но требуют более сложной системы управления.
- Гидравлические приводы позволяют передавать большие усилия, но имеют относительно невысокий КПД и требуют сложной системы обслуживания.

Перспективными направлениями в области повышения КПД приводов возвратно – поступательного движения являются:

- Разработка и применение новых материалов с низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью.
- Оптимизация конструкции механизмов с использованием современных методов компьютерного моделирования.
- Разработка и внедрение интеллектуальных систем управления, позволяющих адаптировать параметры привода к текущим условиям эксплуатации.
- Использование рекуперации энергии при торможении.
- Применение новых технологий, таких как магнитострикционные приводы и пьезоэлектрические приводы.

Повышение КПД приводов возвратно-поступательного движения является сложной и многогранной задачей, требующей комплексного подхода. Оптимизация конструкции, снижение потерь на трение, использование рекуперации энергии и применение интеллектуальных систем управления являются важными направлениями исследований и разработок в этой области. Внедрение новых материалов и технологий открывает новые возможности для повышения КПД и энергоэффективности приводов возвратно – поступательного движения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, И. И. Основы теории механизмов и машин: Учебное пособие / И. И. Иванов. – Москва : Машиностроение, 2018. - 320 с.

2. Петров, П. П. Современные материалы в машиностроении / П. П. Петров. – Санкт-Петербург : Политехника, 2020. - 256 с.

3. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – Москва : Наука, 1988.

4. Перельмутер М.А. Электрические машины. – Москва : Высшая школа, 1985.

5. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – Москва : Машиностроение, 1982.

УДК 681.5

Аржанников Евгений Иванович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Arzhannikov Evgeny Ivanovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сухоруков Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sukhorukov Sergei Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ ГЕРМЕТИКА ДЛЯ ЗАДАЧ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ

ANALYSIS OF OPTIONS FOR IMPLEMENTING AUTOMATIC SEALANT APPLICATION SYSTEMS FOR ROBOTIC ASSEMBLY TASKS

Аннотация. Целью данного исследования является анализ различных методов автоматического нанесения герметика на компоненты при сборке изделий, чтобы определить наиболее оптимальное и рентабельное решение. В ходе анализа будут рассмотрены различные условия нанесения герметика, выявлены их сильные и слабые стороны.
Abstract. The objective of this study is to analyze various methods of automatic sealant application to components during product assembly in order to determine the most optimal and cost-effective solution. The analysis will examine various sealant application conditions and identify their strengths and weaknesses.
Ключевые слова: сборка изделий, технические характеристики, особенности производственного процесса, критерии выбора, нанесение герметика
Key words: assembly of products, technical characteristics, features of the production process, selection criteria, application of sealant

Автоматизация производства – это движущая сила современного индустриального развития. Повышение качества продукции, увеличение производительности и, что немаловажно, обеспечение безопасности труда – вот основные преимущества, которые она предоставляет. Особое место в этом процессе занимает роботизация, широко внедряемая во многие технологические цепочки, в том числе и в сборку различных конструкций. Один из важных этапов сборки, часто требующий высокой точности и аккуратности, – это нанесение герметика. Однако ручное нанесение герметика – процесс трудоемкий, затратный и, зачастую, не отличающийся высокой точностью. Человеческий фактор вносит свои коррективы: усталость, неравномерность нанесения, риск брака – всё это приводит к снижению эффективности и увеличению издержек производства.

В связи с этим, автоматизированное нанесение герметика роботами становится всё более популярным. Роботизированные системы способны выполнять эту операцию с невероятной точностью и повторяемостью, обеспечивая стабильно высокое качество. Но выбор подходящего метода автоматизации зависит от множества факторов, связанных с конкретными условиями производства.

В данной работе мы проанализируем различные варианты реализации систем автоматического нанесения герметика, учитывая особенности технологических процессов на разных предприятиях.

Теперь рассмотрим разные условия производства массовое и мелкосерийное. Массовое производство и мелкосерийное производство — это две основные стратегии организации производственного процесса, различающиеся по объему выпускаемой продукции, степени специализации и гибкости. Каждая из этих стратегий имеет свои преимущества и ограничения, которые делают их подходящими для разных типов бизнеса, видов продукции и рыночных условий. Массовое производство систем автоматического нанесения герметика, представляет собой больше партийное производство без возможности быстрого реагирования на требования рынка. Основной особенностью массового производства является большое количество производимых деталей, что позволяет обеспечить большие планы заказов. Но теперь обсудим минусы данного производства. Это отсутствие гибкости, а именно невозможность быстро реагировать на изменение рынка. Так же из-за этого вытекает следующий недостаток, а это дороговизна. Для того чтоб изменить тип производства нужное большое количество денежных затрат. Чтобы реализовать систему автоматического нанесения герметика в условиях массового производства можно использовать следующие подходы:

- Автоматизированная линия: Робот может быть изначально встроен в линию производства, где он работает с другими машинами и механизмами. Например, робот может наносить герметик на детали, которые были предварительно обработаны другими машинами, а затем передавать их на следующую операцию.
- Мобильный робот: Мобильный робот может перемещаться по производственному цеху и наносить герметик на детали, расположенные на различных станциях или в разных местах. Это позволяет гибко реагировать на изменения в производственном процессе и обрабатывать детали в различных местах.
- Роботизированная ячейка: Робот может быть установлен в роботизированной ячейке, где он работает в изолированной среде. Это обеспечивает повышенную безопасность и контроль над процессом нанесения герметика.
- Внедрение в существующую линию: Робот может быть внедрен в существующую линию производства, где он работает параллельно с существующими машинами и механизмами. Это позволяет расширить возможности существующей линии и повысить ее производительность.
- Система со встроенным роботом: В этом варианте робот встроен в станок или другое производственное оборудование и работает в сочетании с ним. Например, робот может быть встроен в пресс для штамповки и наносить герметик на детали после их формирования. Эта система может быть особенно полезна для задач, требующих точного позиционирования и синхронизации с другим оборудованием.

Рассмотрим следующие способы нанесения, герметика которые можно использовать в условия массового производства. Нанесение герметика с помощью роботизированной системы литья под давлением. Система использует давление для подачи материала на поверхность. Робот может управлять скоростью подачи герметика и его распределение по детали. Этот способ идеально подходит для больших поверхностей или создания герметических уплотнений.

Нанесение герметика с помощью роботизированной системы распыления. Робот оснащен распылителей. Этот способ полезен для нанесения материала на сложные или труднодоступные поверхности.

Нанесение герметика с помощью роботизированной системы экструзии. Система использует давление для выдавливания герметика из носика. Робот имеет возможность управлять движением носика и скоростью подачи материала. Этот способ подходит для обычных деталей.

Мелкосерийное производство с системами автоматического нанесения герметика, представляет собой гибкий подход к производству, сочетающий возможности роботизированной автоматизации с необходимостью производить небольшие партии продукции с высокой адаптацией к меняющимся требованиям рынка.

Основной особенностью мелкосерийного производства является его гибкость. Это позволяет компании быстро реагировать на изменения в требованиях к продукции переориентируя производство на выпуск новых или измененных продуктов. Робот может быть легко перепрограммирован или переконфигурирован для выполнения различных задач, отвечая на меняющиеся потребности рынка.

Кроме того, мелкосерийное производство с роботом, может предложить высокий уровень персонализации. Робот может быть запрограммирован на нанесение герметика с учетом индивидуальных запросов клиентов, что позволяет создавать уникальные продукты, отвечающие конкретным потребностям рынка. Так же первоначальные затраты на приобретение и установку роботизированного оборудования могут быть невысокими, что может быть хорошим решением для небольших или средних компаний. Кроме того, мелкосерийное производство может быть менее экономически эффективным, чем массовое производство, из-за более высокой стоимости единицы продукции и меньшего объема производства. Так же могут существовать системы со сменными инструментами, что позволит быстро и эффективно адаптироваться к новым технологическим процессам.

Рассмотрим вариант, что в мелкосерийном производстве имеется система со сменными инструментами, то можно реализовать это всё следующим образом:

- Автоматическая смена инструмента: Робот может быть оснащен устройством автоматической смены инструмента, которое позволяет ему менять инструменты в зависимости от типа обрабатываемой детали или требуемого вида герметизации. Это позволяет обрабатывать разные типы деталей без необходимости останавливать производство и вручную менять инструменты.
- Модульная система инструментов: Робот может быть оснащен модульной системой инструментов, которая позволяет быстро и легко менять инструменты в зависимости от требований производства. Это позволяет гибко реагировать на изменения в производственном процессе и обрабатывать разные типы деталей без потери времени на смену инструментов.
- Ручное управление сменой инструмента: В некоторых случаях может потребоваться ручное управление сменой инструмента. Например, когда требуется специальный инструмент для обработки определенного типа детали или, когда необходимо провести техническое обслуживание или ремонт инструмента.

Теперь рассмотрим сами способы нанесения герметика, в условиях мелкосерийного производства. Нанесение герметика с помощью системы точечного нанесения герметика. Система использует пистолет для герметика, чтобы наносить на поверхность. Нанесение герметика с помощью этого метода идеально подходит для текущих условий производства, так как это позволяет выполнять заказы, в которых требуется точечное нанесение материала. Нанесение герметика с помощью капельного дозирования. Система с помощь насадки может наносить герметик на поверхность каплями. В этом методе робот оснащен дозирующим насосом, который подаёт точное количество материала роботу. Шприц для герметика. Этот способ идеально подходит для нанесения материала в труднодоступные места. Шприц может быть оснащен различными иглами, которые дают возможность наносить герметик разной формы. Минусом данного способа является, то что количество материала в шприце не много что подходит для небольших партий и в дальнейшем требует ручного пополнения материала.

Были рассмотрены различные варианты реализации автоматического системы нанесения герметика, а также выявлены положительные и отрицательные качества различные условия производства. В результате можно сформулировать следующее, что если у предприятия массовое производство, то вариант реализации с автоматизированной линией будет, является самым лучшим, как в плане эффективности, так и в экономическом. А для мелкосерийных вариант с автоматической заменой инструмента. Так как производственная линия будет очень гибкой, что позволит роботу иметь возможность заниматься большим количеством технологических процессов, но также есть уменьшит его скорость работу, что отрицательно скажется на эффективности его работы.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда № 22-71-10093 «Разработка и синтез перспективных мультимодальных адаптивных алгоритмов и методов управления поведением коллаборативных робототехнических систем с учетом нештатных ситуаций и экстремальных условий в недетерминированной среде»

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Выжигин А.Ю. Гибкие производственные системы: учебное пособие. – Москва : Машиностроение, 2012. – 288 с.

2. Клепиков В.В., Султан-заде Н.М., Схиртладзе А.Г. Автоматизация производственных процессов: учебное пособие. – Москва : Инфра-М, 2018. – 208 с.

3. Шишмарев В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. – 448 с.

4. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов: учебник. – Москва : Academia, 2017. – 352 с.

УДК 681.5
Ашрафджонзода Шамситабрези, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ashrafdzhonzoda Shamsitabrezi, Master's student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сухоруков Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sukhorukov Sergey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Electric Drive and Automation of Industrial Installations", Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ РОБОТА KUKA LBR IIWA 7 R800

ANALYTICAL SOLUTION OF THE INVERSE KINEMATICS PROBLEM OF THE KUKA LBR IIWA 7 R800 ROBOT

Аннотация. Представленная работа посвящается аналитическому решению обратной задачи кинематики для семиосевого коллаборативного робота KUKA LBR iiwa R800. На основе параметров Денавита – Хартенберга и кинематического анализа введены уравнения, позволяющие быстро и детерминировано вычислить углы суставов для достижения заданной позы (положения и ориентации) рабочего органа. Описанный метод обеспечивает повышение эффективности и надежности управления роботом KUKA LBR iiwa 7 R800 в задачах траекторного планирования и автоматизации производственных процессов. Этот метод предпочтителен из-за своей высокой скорости вычислений по сравнению с численными методами, которые являются итерационными и могут быть медленными.
Abstract. The presented work is devoted to the analytical solution of the inverse kinematics problem for the seven-axis collaborative robot KUKA LBR iiwa R800. Based on the Denavit-Hartenberg parameters and kinematic analysis, equations are introduced that allow one to quickly and deterministically calculate the joint angles to achieve a given pose (position and orientation) of the working element. The described method ensures increased efficiency and reliability of control of the KUKA LBR iiwa 7 R800 robot in problems of trajectory planning and automation of production processes. This method is preferable due to its high computation speed compared to numerical methods, which are iterative and can be slow.
Ключевые слова: обратная кинематика, KUKA LBR iiwa, параметры Денавита - Хартенберга, аналитическое решение, робототехника.
Key words: inverse kinematics, KUKA LBR iiwa, Denavit-Hartenberg parameters, analytical solution, robotics.

Коллаборативные роботы, например, KUKA LBR iiwa, играют важную роль в современной промышленности. Их гибкость, точность и способность к безопасной работе рядом людей делают их незаменимы помощниками в различных задачах. Для эффективного управления роботом необходимо быстро и надежно решать обратную задачу кинематики (ОЗК). Суть её заключается в нахождении обобщенных координат манипуляционного робота, при которых схват робота находится в заданной точке рабочего пространства с заданной ориентацией [1]. Целью данной статьи является разработка и описание аналитического метода решения обратной задачи кинематики для семиосевого коллаборативного робота KUKA LBR iiwa R800. Основное внимание уделено использованию параметров Денавита-Хартенберга и тригонометрических соотношений для вычисления углов суставов $\theta_1 - \theta_7$ [2]. В таблице 1 представлены параметры Денавита – Хартенберга.

Таблица 1 – Параметры Денавита-Хартенберга [3].

i – звено	α_i, ,градус	d_i,мм	a_i, ,мм	θ_i,градус
1	$-\pi/2$	340	0	θ_1
2	$\pi/2$	0	0	θ_2
3	$\pi/2$	400	0	θ_3
4	$-\pi/2$	0	0	θ_4
5	$-\pi/2$	400	0	θ_5
6	$\pi/2$	0	0	θ_6
7	0	126	0	θ_7

Для решения обратной задачи кинематики робота KUKA LBR iiwa 7 R800 предложен аналитический метод, основанный на последовательном вычислении углов каждого сустава. Этот метод разделяется на три основных этапа: вычисление положения локтя, вычисление положения запястья и вычисление положения конечного эффектора.

Модель робота имеет 7 углов сочленений (рисунок 1), в то время как заданное положение и ориентации конечного эффектора могут быть заданы шестью параметрами, что означает, доступна одна дополнительная степень свободы (7 сустав) в роботе. Дополнительная степень свободы представляет собой избыточность. Таким образом, определяется обратную задачу кинематики на две более простые задачи, и звено руки даст обратную кинематику положения, а звено запястья даст обратную кинематику ориентации.

На рисунке 1 показан робот KUKA LBR iiwa 7 R800 без захвата, а также расположение систем координат и размеры. В данном случае робот установлен вертикально. Робот находится в нулевых конфигурациях.

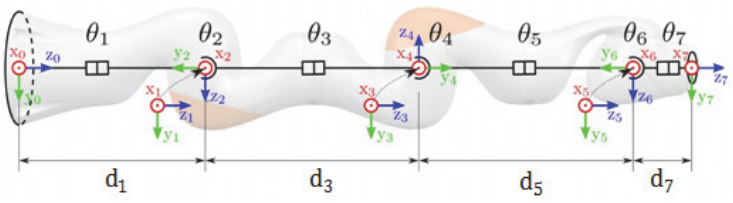


Рисунок 1 – Расположение систем координата и размеры робота

Вычисление положения локтя: Положение локтя $P_{\text{локтя}}$ вычисляется на основе целевого положения конечного эффектора.

Углы θ_1и θ_2вычисляются таким образом:

$$\theta_1 = atan2 \cdot (d_3 \cdot sin(\theta_1) \cdot sin(\theta_2), d_3 \cdot cos(\theta_1) \cdot sin(\theta_2))$$

$$\theta_2 = arccos \cdot \left(\frac{d_1 + d_3 \cdot cos(\theta_2) - d_1}{d_3}\right)$$

Вычисление положения запястья:

Положение запястья $P_{\text{запястья}}$ вычисляется на основе положения локтя и целевого положения конечного эффектора. Используются тригонометрические функции для вычисления углов θ_3и θ_4.

$$\theta_3 = atan\,2 \cdot (-d_5 \cdot sin(\theta_3) \cdot sin(\theta_4), d_5 \cdot cos(\theta_3) \cdot sin(\theta_4)$$

$$\theta_4 = arccos \cdot \left(\frac{d_3 + d_5 \cdot cos(\theta_4) - d_3}{d_5}\right)$$

Вычисление положения конечного эффектора:

$$\theta_5 = atan\,2 \cdot (-d_7 \cdot sin(\theta_5) \cdot sin(\theta_6), -d_7 \cdot cos(\theta_5) \cdot sin(\theta_6))$$

$$\theta_6 = arccos \cdot \left(\frac{d_5 + d_7 \cdot cos(\theta_6) - d_5}{d_7}\right)$$

Угол θ_7 определяет вращение вокруг оси Z 7-го сустава робота. Вычисление седьмого сустава основано на ориентации конечного эффектора, положение целевой центральной оси и предварительно вычисленных углов $\theta_1 - \theta_6$.

Угол вычисляется с помощью матричного преобразования:

$$T_c^7 = T_B^7 \cdot T_c^B$$

где T_B^7 – матрица преобразования от базы к 7 – му суставу, T_c^B – положение целевой оси в базовой системе координат.

Если T_c параллелен оси Y системы координат TCP, тогда

$$T_c^7 = [0, T_c^7, y, T_c^7, z, 0]^T$$

Отсюда θ_7 определяется таким образом:

$$\theta_7 = atan2\,(T_{c,y}^7 \cdot sin(\theta_7), (T_{c,y}^7 \cdot cos(\theta_7))$$

В данной работе представлено аналитическое решение обратной задачи кинематики для семиосевого коллаборативного робота KUKA LBR iiwa 7 R800. Разработанный метод, основанный на кинематическом анализе и параметрах Денавита-Хартенберга, позволяет эффективно и детерминировано вычислять углы суставов, обеспечивая достижение заданной позы рабочего органа. Подчеркивается преимущество аналитического решения, заключающееся в высокой скорости вычислений по сравнению с итерационными численными методами. Предложенный подход может быть успешно применен в задачах траекторного планирования и автоматизации требующих быстрого и надежного управления роботом KUKA LBR iiwa 7 R800.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шахинпур М. Курс робототехники. Москва : Мир – 1990. – 527 с.

2. Jochen Steil Weihui Liu, Diansheng Chen. Analytical inverse kinematics solver for anthropomorphic 7-dof redundant manipulators with human-like configuration constraints.Technical report, 2016. Вэйхуэй Лю, Дяньшэн Чен и Йохен Стайл. Аналитическое решение обратной кинематики для антропоморфных манипуляторов с 7 степенями свободы и ограничениями конфигурации человекоподобным. Журнал «Интеллектуальные и роботизированные системы» 86 (1). Апрель 2017 года. URL: https://10.1007/s10846-016-0449-6.

3. Carlos Faria Wolfram Erlhagen Flora Ferreira Sergio Monteiro. Position based kinematics for 7-dof serial manipulators with global configuration control, joint limit and singularity avoidance. Mechanism and Machine Theory, 2018. Карлос Фариа Вольфрам Эрлхаген Флора Феррейра Серхио Монтейро. Кинематика на основе положения для серийных манипуляторов с 7 степенями свободы с глобальным управлением конфигурацией, ограничением сочленений и избежанием сингулярностей. Журнал «Теория механизмов и машин» 121:317-334. Март 2018 г. URL: https:// DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2017.10.025.

УДК 681.5

Ашрафджонзода Шамситабрези, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ashrafdzhonzoda Shamsitabrezi, Master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сухоруков Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sukhorukov Sergey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk- na-Amure State University

ПРЯМАЯ ЗАДАЧА КИНЕМАТИКИ КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА

THE DIRECT TASK OF KINEMATICS OF A COLLABORATIVE ROBOT

Аннотация. Данная статья посвящена разработке решения прямой задачи кинематики для робота KUKA LBR iiwa 7 R800, имеющего семь степеней свободы и предназначенного для совместной работы с человеком. Ключевой целью является расчёт итоговой матрицы, содержащей как матрицу вращения, так и вектор перемещения, что позволяет полностью описать положение и ориентацию конечного звена. Для получения этой матрицы применены методы аналитической геометрии и линейной алгебры. Предварительно была выполнена привязка систем координат к звеньям и определены параметры Денавита-Хартенберга.

Таким образом, результаты работы представляют собой матрицу задающую положение и ориентацию рабочего инструмента робота.

Abstract. This article is devoted to the development of a solution to the direct kinematics problem for the KUKA LBR iiwa 7 R800 robot, which has seven degrees of freedom and is designed to work with humans. The key goal is to calculate the final matrix containing both the rotation matrix and the displacement vector, which makes it possible to fully describe the position and orientation of the final link. Methods of analytical geometry and linear algebra are applied to obtain this matrix. Previously, the coordinate systems were linked to the links and the Denavit-Hartenberg parameters were determined. Thus, the results of the work are a matrix that defines the position and orientation of the robot's working tool.

Ключевые слова: робот, система координат, звенья, матрица однородного преобразования, прямая задача кинематики, параметры Денавита-Хартенберга, коллаборативный робот.

Key words: robot, coordinate system, links, homogeneous transformation matrix, direct kinematics problem, Denavit-Hartenberg parameters, collaborative robot.

Для обеспечения функциональности роботов необходимо постоянно решать, как прямую, так и обратную кинематические задачи. Суть прямой задачи заключается в определении пространственного положения рабочего инструмента на основе известных длин звеньев и углов их сочленения [1]. Под обратной задачей кинематики при этом понимают нахождение требуемых углов поворота осей робота для достижения конечным звеном или инструментом робота требуемого пространственного положения [2]. При этом, для распространенных промышленных роботов с количеством звеньев от трех до шести такие задачи описаны и решены. Однако, сегодня активно развиваются более совершенные модели роботов, обладающие как более широкими возможностями, так и большим количеством осей. Примером таких роботов могут служить семиосевые коллаборативные роботы. В данной работе решается прямая задача кинематики для такого робота. Задача будет решаться на примере робота KUKA LBR iiwa 7 R800 [3].

В процессе анализа механических систем рассматриваются их кинематические свойства, а именно: скорости, ускорения и перемещения элементов, а также угловые скорости и ускорения вращающихся частей. Для исключения возможности взаимного столкновения звеньев необходимо точно определить траектории их движения.

Кинематическая постановка

Анализ движения механизма требует знания кинематических параметров, включающих линейные и угловые скорости, ускорение, а также также перемещения различных элементов. Для обеспечения безопасной работы механизмов необходимо заранее определить траектории движения, чтобы избежать потенциальных столкновений. Для решения поставленной задачи, а именно для определения положения и ориентации рабочего инструмента робота.

Основные ключевых этапов:

- Построить систему координат и привязать её к каждому звену робота.
- Далее необходимо определить параметры Денавита-Хартенберга для описания связей между звеньями.
- В конце сформировать матрицы однородного преобразования для описания взаимного положения звеньев. На основании технической документации была построена кинематическая модель робота, соответствующая его реальной конструкции (рисунок 1).

Параметры Денавита-Хартенберга

Для описания взаимного расположения звеньев и их связей используется метод, разработанным Денавитом и Хартенбергом. Этот метод основан на построение системы координат для каждого звена и определение параметров, описывающих перемещения и вращения относительно предыдущего звена. Основная идея заключается в построении матрицы преобразования, которая позволяет описать положение и ориентацию каждого звена относительно базовой системы координат [4]. Метод Денавита-Хартенберга позволяет учитывать длины звеньев, а также углы между звеньями, что позволяет комплексно описать структуру механизма. Для этого вводится следующие обозначения:

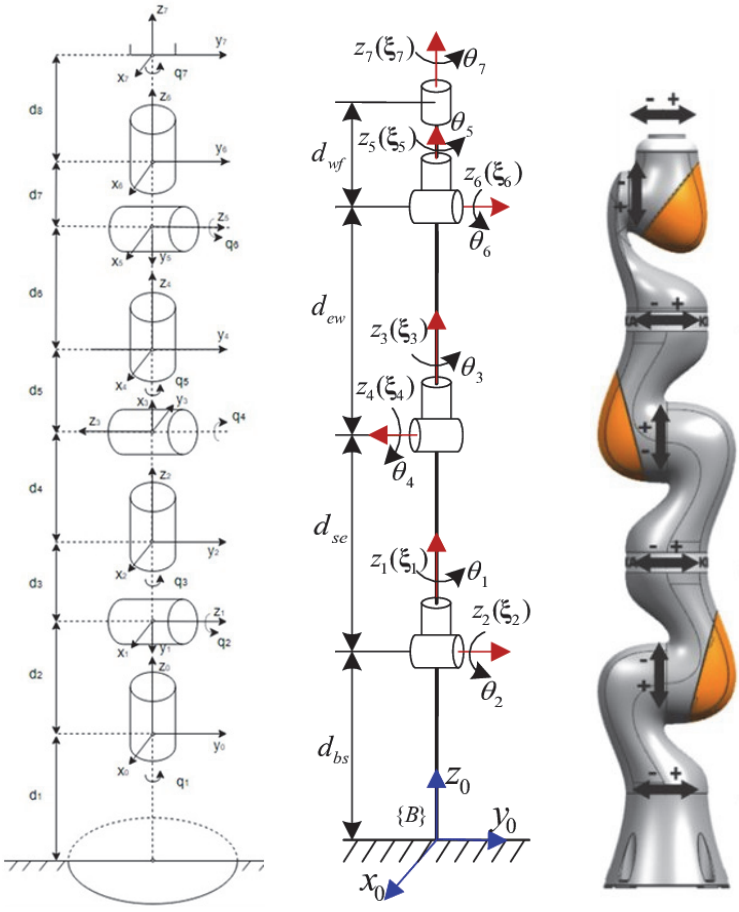
θ_i – угол вращения текущего звена, выраженный в градусах.

d_i и a_i – длина звена и смещение, измеренные в миллиметрах.

α_i – угол между осями вращения, также выраженный в градусах, который зависит от угла θ.

T_i^{i-1} – матрица, описывающая преобразование координат от звена i-1 к звену i.

Результаты вычислений, основанные на методе Денавита-Хартенберга представлены в таблице 1.



1) 2) 3)

1-кинематическая схема, 2-привязка системы координат к звеньям, 3 - внешний вид робота

Рисунок 1 – Кинематическая схема робота и его внешний вид с привязками системы координат к звеньям

Таблица 1 – Параметры Денавита-Хартенберга

i – звено	α_i, ,градус	d_i,мм	a_i, ,мм	θ_i,градус
1	$-\pi/2$	340	0	θ_1
2	$\pi/2$	0	0	θ_2
3	$\pi/2$	400	0	θ_3
4	$-\pi/2$	0	0	θ_4
5	$-\pi/2$	400	0	θ_5
6	$\pi/2$	0	0	θ_6
7	0	126	0	θ_7

Матричные однородные преобразования

Для описания преобразования координат между звеньями робота используется матрицы однородного преобразования, которые позволяют объединить перемещение и вращение. Математическое выражение, описывающее преобразование координат от звена i-1 к звену i, имеет вид:

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \cdot cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i) \cdot \sin(\alpha_i) & a_i \cdot cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & cos(\theta_i) \cdot cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i) \cdot \sin(\alpha_i) & a_i \cdot sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Подставив все параметры Денавита - Хартенберга, получим 7 матриц однородного преобразования:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} cos(\theta_1) & 0 & -\sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & \cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_2^1 = \begin{bmatrix} cos(\theta_2) & 0 & \sin(\theta_2) & 0 \\ \sin(\theta_2) & 0 & -\cos(\theta_2) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} cos(\theta_3) & 0 & \sin(\theta_3) & 0 \\ \sin(\theta_3) & 0 & -\cos(\theta_3) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_4^3 = \begin{bmatrix} cos(\theta_4) & 0 & \sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_2) & 0 & -\cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} cos(\theta_5) & 0 & -\sin(\theta_5) & 0 \\ \sin(\theta_5) & 0 & \cos(\theta_5) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_6^5 = \begin{bmatrix} cos(\theta_6) & 0 & \sin(\theta_6) & 0 \\ \sin(\theta_6) & 0 & -\cos(\theta_6) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_7^6 = \begin{bmatrix} cos(\theta_7) & -\sin(\theta_7) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_7) & \cos(\theta_7) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_n^0 = T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2 \cdot T_4^3 \cdot T_5^4 \cdot T_6^5 \cdot T_7^6 =$$

$$\begin{bmatrix} cos\,\theta_n & -\sin(\theta_n) \cdot cos(\alpha_n) & \sin(\theta_n) \cdot \sin(\alpha_n) & a_n \cdot cos_{\theta_n} \\ \sin\theta_n & cos(\theta_n) \cdot cos(\alpha_n) & -\cos(\theta_n) \cdot \sin(\alpha_n) & a_n \cdot sin_{\theta_n} \\ 0 & \sin(\alpha_n) & \cos(\alpha_n) & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_n^0 & p_n^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

В результате, определив матрицу T_n^0, состоящей из матрицы R_n^0, размерностью 3×3 и вектора абсолютных координатах p_n^0, размерностью 3×1, можно определить ориентацию и положение системы координат, связанной со схватом или рабочим органом, в пространстве.

Результаты, полученные в данной статье, представляют собой решение прямой задачи кинематики для семиосевого коллаборативного робота KUKA LBR iiwa 7 R800. Вычисленные матрицы поворота и векторы перемещения позволяют точно определять положение и ориентацию рабочего инструмента, что является основой для управления роботом и обеспечения его эффективной работы в задачах совместной работы с человеком. Примененный подход, основанный на методе Денавита-Хартенберга, может быть использован и для других типов роботов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фу К. Робототехника / К. Фу, К.Р. Гонсалес, К. Ли. – Москва : Мир, 1989 – 624 с.

2. Колтыгин, Д. С. Метод и программа решения прямой и обратной задачи кинематики для управления роботом-манипулятором / Д. С. Колтыгин, И. А. Седельников // Системы. Методы. Технологии. – 2020. – № 4(48). – С. 65-74. – DOI 10.18324/2077-5415-2020-4-65-74. – EDN UIAWPH.

3. Официальный сайт компании KUKA. URL: https://www.kuka.com/en-de

4. A Kinematic Notation for Lower-Pair Mechanisms Based on Matrices // J. Denavit, R. S. Hartenberg. Northwestern University. 01 Jun 1955 - Journal of Applied Mechanics (American Society of Mechanical Engineers Digital Collection) - Vol. 22, Iss: 2, pp 215-221. Кинематическая система счисления для механизмов с младшей парой, Основанная на матрицах Дж. Денавит, Р. С. Хартенберг Северо-Западный университет. 01 июня 1955. - Журнал прикладной механики. (Цифровая коллекция Американского общества инженеров-механиков) - Том 22.

УДК 681.5
Баранова Анастасия Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Baranova Anastasia Andreevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Демидов Иван Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Demidov Ivan Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Егоров Владислав Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Egorov Vladislav Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Electric drive and automation of production plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

USING PLC IN ACCESS CONTROL SYSTEM FOR BUILDINGS AND STRUCTURES

Аннотация. Предложен формализованный алгоритм управления доступом. На основе предложенного алгоритма реализована система управления доступом с числом символов алфавита равным девяти и числом символов ключа равным четырем. Приведено описание реализованной системы управления доступом в здании, с использованием бюджетного одноплатного промышленного контроллера на языке структурированного текста.
Abstract. A formalized access control algorithm is proposed. Based on the proposed algorithm, an access control system is implemented with the number of alphabet characters equal to nine and the number of key characters equal to four. The description of the implemented access control system in the building is given, using a single-board industrial controller in a structured text language.
Ключевые слова: система контроля и управления доступом, алгоритм доступа, промышленный контроллер, язык структурированного текста, безопасность.
Key words: access control and management system, access algorithm, industrial controller, structured text language, safety.

Система контроля и управления доступом (СКУД) - совокупность программно-аппаратных технических средств безопасности, имеющих целью ограничение и регистрацию входа-выхода объектов (людей, транспорта) на заданной территории через «точки прохода»: двери, ворота, контрольно-пропускные пункты (КПП) и другие места, через которые осуществляется вход и выход. [1].

Развитие сферы управления доступом, привело к увеличению возможностей СКУД. Комплексы устанавливаются на промышленных предприятиях, в бизнес-центрах и офисах компаний, отелях, гипермаркетах, подъездах жилых домов.

Данная статья посвящена разработке и реализации формализованного алгоритма управления доступом. На основе предложенного алгоритма реализована система управления доступом с числом символов алфавита равным девяти и числом символов ключа равным четырем. Приведено описание реализованной системы управления доступом в здании, с использованием бюджетного одноплатного промышленного контроллера на языке структурированного текста.

Алгоритм доступа по паролю может быть реализован на основе системы логических выражений (1):

$$\begin{cases} F_1 = S_1;\ F_{Alarm} = S_1; \\ F_i = \overline{F_{k+1}} \cdot \overline{F_{i+1}} \cdot (F_{i-1} \cdot S_1 + F_i), \\ \text{где } i = 2, \dots, k-1; \\ F_k = \overline{F_{k+1}} \cdot (F_{k-1} \cdot S_k + F_k); \\ F_{k+1} = S_{k+1} + \dots + S_n + S_{on}; \\ F_{on} = F_k, \end{cases} \quad (1)$$

где n – число символов алфавита; k – число символов ключа (k<n); $S_1, \dots, S_k, \dots, S_n$ – символы алфавита; F_{on} – разрешение доступа.

Покажем использование описанного алгоритма на примере. Пусть алфавит состоит из цифр 1, 2,…,9 и код доступа равен 1, 3, 6, 8, тогда алгоритм доступа описывается выражениями:

$$\begin{cases} F_1 = S_1;\ F_{Alarm} = S_1; \\ F_2 = \overline{F_5} \cdot \overline{F_3} \cdot (F_1 \cdot S_6 + F_2); \\ F_3 = \overline{F_5} \cdot \overline{F_4} \cdot (F_2 \cdot S_3 + F_3); \\ F_4 = \overline{F_5} \cdot (F_3 \cdot S_8 + F_4); \\ F_5 = S_5 + S_2 + S_7 + S_4 + S_9 + S_{on}; \\ F_{on} = F_4. \end{cases} \quad (2)$$

Выражения алгоритма доступа рекомендуется получать в два этапа. Сначала, по формулам (1), получают выражения для первых k – символов алфавита. Затем производится замена символов алфавита между функцией F_{k+1}и остальными уравнениями системы (1), в соответствии с кодом доступа. Например, в приводимом примере (2), выполнены замены $S_2 \leftrightarrow S_6$ и $S_4 \leftrightarrow S_8$.

По уравнениям (2), реализована управляющая программа, код которой, приведен на рисунке 1. Проект выполнен в среде программирования CoDeSys V2, на языке структурированного текста [2; 3]. В качестве целевой платформы выбран одноплатный промышленный контроллер серии ПЛК 110, фирмы «Овен».

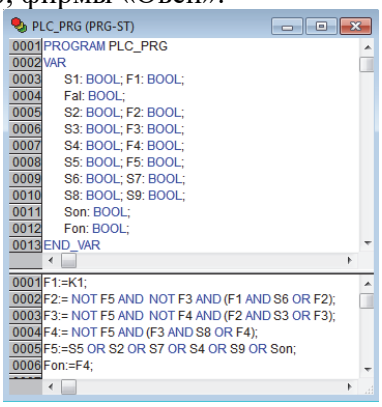


Рисунок 1 – Реализация алгоритма управления доступом на языке структурированного текста

Для ввода кода доступа в систему может быть использован считыватель электронных кодов, выполненный по любой известной технологии (оптический, магнитный, контактный, бесконтактный).

Система программирования CoDeSys имеет встроенные средства визуализации. С использованием этих средств, в проекте примера был реализован простейший кнопочный интерфейс, для ввода кода доступа (рисунок 2).

Описанная система контроля доступа функционирует на основе четкого алгоритма, который определяет возможность открытия входной двери.

При вводе кода доступа 1 3 6 8 (рисунок 2а) состояние переменной Fon меняется с FALSE на TRUE. Плунжер дверного замка срабатывает, открывая дверь.

При вводе любого другого кода, например - 1 2 5 9 (рисунок 2б) переменная Fon = FALSE. Входная дверь остается закрытой.

а) б)

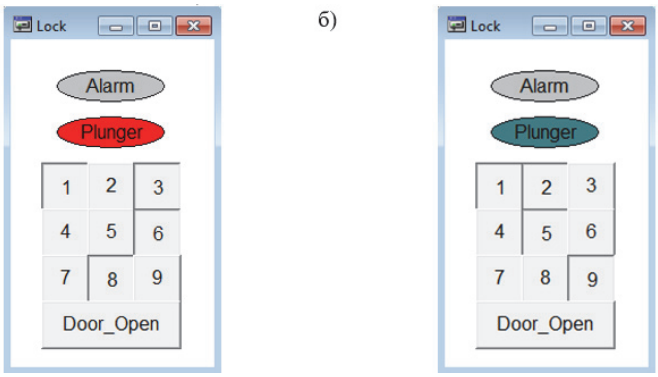


Рисунок 2 – Проверка работоспособности алгоритма доступа:
а) - плунжер дверного замка открыт; б) - плунжер дверного замка закрыт

Полученные результаты позволяют заключить, что система доступа, построенная на основании логических выражений (2) выполняет свою функцию, а алгоритм доступа (1) является работоспособным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Система контроля и управления доступом [Электронный ресурс] // URL: https://rustelematika.ru/blog/chto-takoe-skud/ (Дата обращения: 23.03.2025).

2. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Практическое применение языков стандарта МЭК 61131-3 / И.В. Петров – Москва : СОЛОН - Пресс, 2003 – 256 с

3. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys V2.3 [Электронный ресурс] // URL: https://owen.ru/product/codesys_v2 (Дата обращения: 23.03.2025).

УДК 621.314

Башков Данил Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bashkov Danil Alexeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Serikov Alexander Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ БЛОКОМ

CALCULATION FEATURES OF A POWER OIL TRANSFORMER WITH A HEATING UNIT

Аннотация. В настоящей статье рассмотрена методика расчёта силового масляного трансформатора, конструкция которого усовершенствована за счёт внедрения нагревательного блока. Предложено использовать потери холостого хода и короткого замыкания трансформатора для нагрева теплоносителя. Реализация данной технологии позволяет повысить энергетическую эффективность и расширить функциональность силового электрооборудования.
Annotation. This article discusses the calculation method of a power oil transformer, the design of which has been improved by the introduction of a heating unit. It is proposed to use the losses of the idling and short circuit of the transformer to heat the coolant. The implementation of this technology makes it possible to increase energy efficiency and expand the functionality of power electrical equipment.

Ключевые слова: масляный трансформатор, энергоэффективность, нагревательный блок, нагревательный контур, расчет
Key words: oil transformer, energy efficiency, heating unit, heating circuit, calculation

В современных условиях одной из приоритетных задач энергетики является повышение энергоэффективности силового электрооборудования. Снижение потерь и рациональное использование энергии позволяют не только уменьшить эксплуатационные затраты, но и повысить экологическую устойчивость энергосистем. Одним из перспективных направлений повышения энергоэффективности является использование тепловых потерь силовых масляных трансформаторов, которые в стандартной конструкции просто рассеиваются в окружающую среду.

Предлагаемая модернизация силового масляного трансформатора заключается во внедрении нагревательного блока, который позволит использовать потери холостого хода и короткого замыкания для нагрева жидкого теплоносителя [1]. Это тепло может быть направлено на обеспечение системы теплоснабжения зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости от трансформаторной подстанции, а также можно использовать на собственные нужды самой подстанции. Таким образом, преобразование потерь в полезную тепловую энергию приведёт к повышению общего КПД электрооборудования и его более рациональному использованию.

Добавление нагревательного блока и элементов теплообмена в активную часть трансформатора неизбежно приведет к увеличению габаритных размеров. Однако этот рост размеров компенсируется повышенной эффективностью использования энергоресурсов и дополнительной функциональностью оборудования. В данной статье представлена особенность расчёта силового масляного трансформатора с учётом конструктивных изменений, связанных с применением нагревательного блока.

Добавление в конструкцию силового масляного трансформатора нагревательного блока приводит к увеличению габаритных размеров электрооборудования. На рисунке 1 представлена схема окна магнитопровода между соседними стержнями магнитной системы силового масляного трансформатора с нагревательным блоком.

Нагревательный блок состоит из трёх полых кольцевых элементов 1, установленных концентрически вокруг силовых обмоток 2 на стержнях магнитопровода 3. С торцевых сторон блока предусмотрены патрубки для подачи и отвода теплоносителя. В процессе циркуляции по нагревательному блоку теплоноситель нагревается за счёт тепловых потерь трансформатора, что обеспечивает его пассивный подогрев. В дальнейшем нагретый теплоноситель может быть использован, например, для отопления и обогрева, расположенных поблизости объектов.

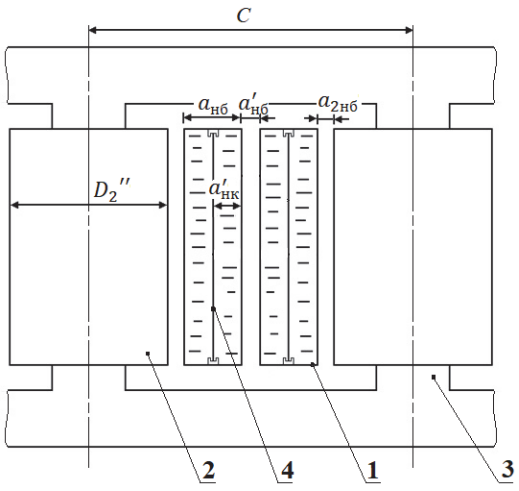


Рисунок 1 – Схема окна активной части
силового масляного трансформатора с нагревательным блоком

При необходимости достижения более высоких температурных значений теплоноситель дополнительно нагревается посредством нагревательного контура 4 (рисунок 1). Этот контур выполнен из немагнитного проводящего материала и представляет собой продольно разрезанную цилиндрическую конструкцию. К образовавшимся краям цилиндра приварены шины, концы которых выведены через крышку бака. Шины замыкаются между собой с помощью коммутационного блока в виде встречно-параллельно включенных тири-

сторов [2], что позволяет периодически замыкать цепь нагревательного контура и осуществлять активный нагрев жидкого теплоносителя. Такой режим необходим в тех случаях, когда тепловых потерь трансформатора недостаточно для достижения требуемой температуры теплоносителя.

Добавление в конструкцию трансформатора нагревательного блока и сопутствующих элементов требует увеличения габаритных размеров трансформатора.

В классической конструкции трансформатора расстояние между осями соседних стержней *C* определяется следующим выражением [3, с. 366]:

$$C = D_2'' + a'_{22}, \quad (1)$$

где D_2'' – внешний диаметр обмотки высокого напряжения; a'_{22} – расстояние между обмотками соседних стержней.

Данная формула не учитывает наличие нагревательного блока. С учётом их размеров формула будет иметь следующий вид:

$$C = D_2'' + 2(a_{\text{нб}} + a_{2\text{нб}}) + a'_{\text{нб}}, \quad (2)$$

где $a_{\text{нб}}$ – ширина нагревательного блока; $a_{2\text{нб}}$ – изоляционное расстояние между обмоткой высокого напряжения и нагревательным блоком; $a'_{\text{нб}}$ – расстояние между нагревательными блоками соседних фаз.

Ширину нагревательного блока $a_{\text{нб}}$ можно вычислить, используя следующую формулу:

$$a_{\text{нб}} = a_{\text{нк}} + 2(a'_{\text{нк}} + a_{\text{к}}), \quad (3)$$

где $a_{\text{нк}}$ – толщина нагревательного контура; $a'_{\text{нк}}$ – ширина канала между нагревательным контуром и стенкой корпуса нагревательного блока; $a_{\text{к}}$ – толщина стенки корпуса нагревательного блока.

Расчеты показывают, что толщина нагревательного контура $a_{\text{нк}}$, выполненного из нержавеющей стали марки 08Х3, составляет по условиям заданной мощности и механической прочности от 1 мм до 3 мм. Ширина канала $a'_{\text{нк}}$, должна обеспечивать относительно небольшое гидравлическое сопротивление при протекании теплоносителя и составляет от 10 мм до 15 мм. Стенка корпуса нагревательного блока так же выполняется из немагнитной стали 08Х3, но имеет продольный разрез с диэлектрической вставкой для устранения контура протекания токов. Толщина стенки по условиям механической прочности с учетом внутреннего давления протекающего теплоносителя должна составлять около 3 мм. Таким образом, суммарный радиальный размер нагревательного блока $a_{\text{нб}}$ не превышает 40 мм. При размещении нагревательного блока в силовом масляном трансформаторе мощностью 1600 кВА с размером между осями соседних стержне $C = 0{,}52$ м [3] габаритные размеры всего трансформатора (за исключением высоты) увеличиваются на 15 %. Эти особенности необходимо учитывать при расчетах массо-габаритных показателей подобных конструкций.

Повышение энергоэффективности силовых трансформаторов является важной задачей, направленной на снижение потерь энергии и продление срока службы оборудования. Одним из эффективных решений является использование тепловых потерь трансформаторов для нагрева жидкого теплоносителя, что позволяет использовать выделяемую энергию и снижать эксплуатационные затраты. Объединение нагревательного контура и теплообменника в компактный нагревательный модуль упрощает конструкцию и повышает эффективность системы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сериков, А. В. Электронагревательные элементы и устройства трансформаторного типа для систем теплоснабжения : моногр. / А. В. Сериков, В. М. Кузьмин. – Владивосток : Дальнаука, 2012. – 247 с.

2. Степаненко, А. А. Анализ использования тепловых потерь в силовом масляном трансформаторе с нагревательным блоком / А. А. Степаненко, А. В. Сериков // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 05–11 декабря 2022 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. –

Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 273-276.
3. Тихомиров, П. М. Расчёт трансформаторов: учеб. пособие для вузов. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.

УДК 621.3.078
Бобровский Никита Петрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bobrovskiy Nikita Petrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Горькавый Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Gorkavyy Aleksandr Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ФОРМИРОВАНИЕ МОДАЛЬНОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА В КОНТУРЕ СКОРОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

FORMATION OF MODAL PID CONTROLLER IN THE SPEED LOOP OF THE ELECTRIC DRIVE SYSTEM

Аннотация. В работе рассматривается синтез системы электропривода, основанный на принципах модального управления с возможностью отдельной настройки контуров тока и скорости, что обеспечивает возможность введения блоков ограничения переменных. Целью работы является повышение быстродействия контура скорости за счет формирования и настройки модального ПИД-регулятора, обеспечивающего высокое быстродействие по задающему воздействию и уменьшение динамических ошибок по возмущению.
Abstract. The paper considers the synthesis of the electric drive system based on the principles of modal control with the possibility of separate tuning of current and speed loops, which provides the possibility of introducing variable limitation blocks. The purpose of the work is to increase the speed performance of the speed loop through the formation and tuning of PID-regulator, which provides high speed performance on the setting action and reduction of dynamic errors on the perturbation.
Ключевые слова: синтез, система, модальное управление, ПИД-регулятор.
Key words: synthesis, system, modal control, PID controller.

Показатели качества системы электропривода во многом определяют эффективность функционирования различного технологического оборудования, в том числе металлорежущих станков, робототехнических комплексов исполнительных устройств АСУ ТП. Основными традиционными методами синтеза этих систем является подчиненное регулирование и модальное управление, которые в сравнении друг с другом имеют как преимущества, так и недостатки. Построение систем электропривода на принципах модального управления предполагает формирование регуляторов по полному вектору состояния, что позволяет разрабатывать эффективные законы управления сложными электромеханическими объектами, по сравнению с подчиненным регулированием. Преимущества автономного расчета контуров в рамках модального управления заключается в возможности использования различных настроек при их синтезе. Возможно применение модальных П-регуляторов и модальных ПИ-регуляторов. Целью работы является расчет, и настройка модального ПИД-регулятора скорости который позволит обеспечивать качественное функционирование системы электропривода в позиционном и следящем режимах.

В работе [1] разработан и исследован метод синтеза модального регулятора системы электропривода с настройками контуров тока и скорости так, чтобы можно было их ограничивать и реализовывать в рамках модального управления принцип подчиненности контуров. Модальные ПИ-регуляторы тока и скорости обеспечивали требуемую динамику. В позиционных и следящих системах электропривода контур скорости во многом определяет

быстродействие и точность слежения. В отличие от систем стабилизации, где задающее воздействие постоянно, и систем программного управления, где оно изменяются и формируются по заранее заданному закону, в следящих системах задающее и управляющее воздействие изменяется по закону, заранее неизвестному. Данные системы обладают способностью следить за изменениями, происходящими в каком либо процессе. Следящие системы широко применяются в автоматическом управлении станками, высотой и курсом самолета с помощью автопилота, слежении за космическими объектами и т. д.

В данной работе для еще большего повышения быстродействия контура скорости разрабатывается подход к расчету и настройки модального ПИД-регулятора скорости. ПИД-регулятор учитывает фактическую величину и заданное значение, а также скорость изменения контролируемых характеристик. Дифференцирующая составляющая в регуляторе предсказывает отклонения регулируемого параметра в будущем и противодействует этому отклонению, что позволяет быстро возвращать регулируемый параметр в допустимый интервал, точно удерживать величину и быстро реагировать на возмущающие воздействия. На рисунке 1 представлена структурная схема контура скорости с рассчитанным и замкнутым контуром тока в общем виде [1].

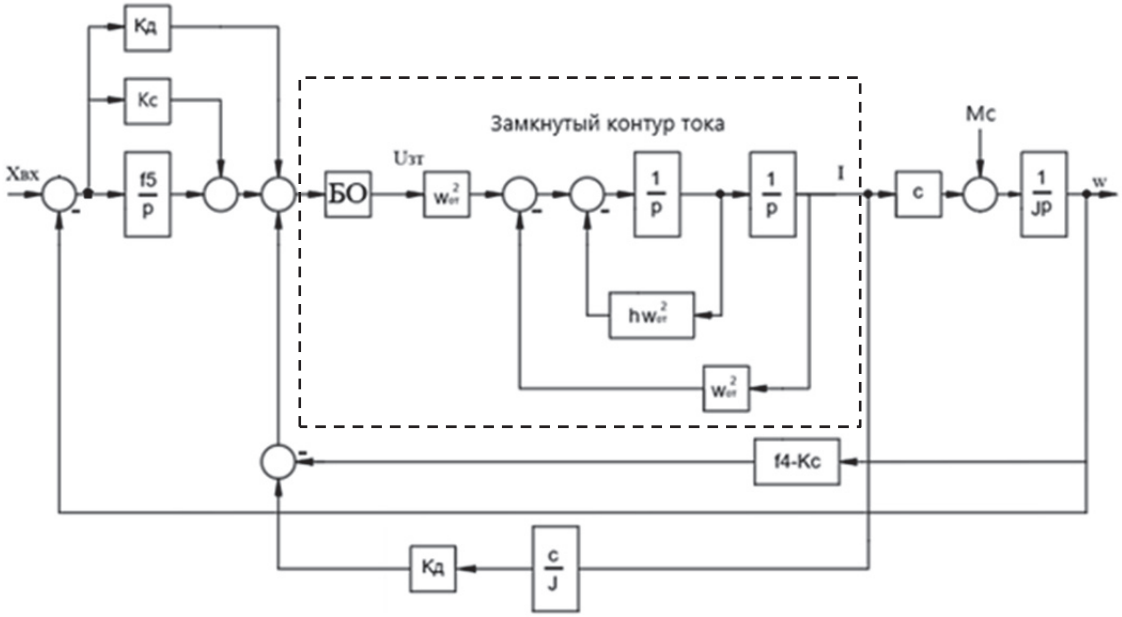


Рисунок 1 – Структурная схема контура скорости с модальным ПИД-регулятором

Замкнутый контур тока определяется показателем быстродействия контура тока ($\omega_{от}$) и коэффициентом в стандартной форме определяющим её вид (h) в следующей передаточной функции:

$$\frac{I_я(p)}{U_{рс}(p)} = \frac{\omega_{от}^2}{p^2+h\omega_{от}\cdot p+\omega_{от}^2}. \quad (1)$$

Параметры $\omega_{от}$ и h в каждом конкретном случае определяются требованиями к контуру скорости. Передаточная функция контура скорости по задающему воздействию при его настройке на биномиальную стандартную форму [2] имеет вид:

$$\frac{\omega(p)}{x_{вх}(p)} = \frac{\frac{c}{J}\cdot k_д\cdot\omega_{от}^2\cdot(p^2+\frac{k_c}{k_д}p+\frac{f_5}{k_д})}{(p+\omega_{ос})^4} \quad (2)$$

Исходя из выбора быстродействия контура скорости $\omega_{ос}$, определяются параметры контуров тока и скорости: $\omega_{от} = \sqrt{6}\omega_{ос}$; $h\omega_{от} = 4\omega_{ос}$; $f_4 = \frac{4\omega_{ос}J}{6c}$; $f_5 = \frac{\omega_{ос}^2 J}{6c}$.

Приняв $\frac{f_5}{k_д} = {\omega_{ос}}^2$, а $\frac{k_c}{k_д} = 2\omega_{ос}$ и проведя преобразования в (2), получаем передаточную функцию контура скорости соответствующую системе второго порядка:

$$\frac{\omega(p)}{x_{вх}(p)} = \frac{{\omega_{ос}}^2}{(p+\omega_{ос})^2} \quad (3)$$

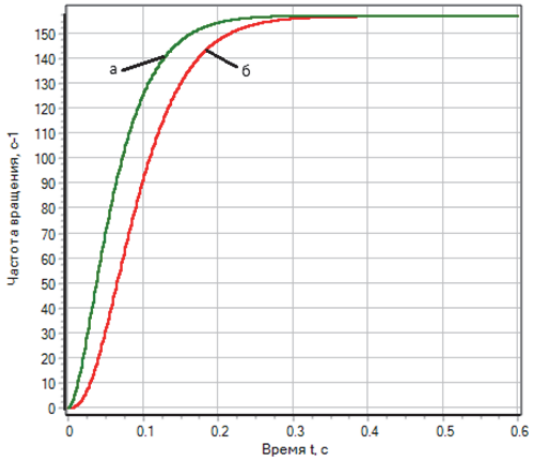
Включение ПИД-регулятора привело к повышению быстродействия контура скорости, что продемонстрировано на рисунке 2.

Передаточная функция по возмущению системы с ПИД-регулятором содержит в числителе знаменатель передаточной функции контура тока:

$$\frac{\omega(p)}{m_c(p)} = \frac{p(p^2+h\omega_{от}p+\omega_{от}^2)}{(p+\omega_{ос})^4} \quad (4)$$

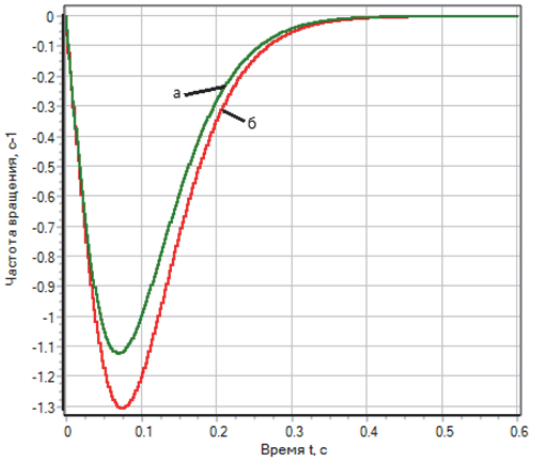
Сравнив реакции систем на возмущающее воздействие (см. рисунок 3) можно увидеть, что ПИД-регулятор снижает динамическую ошибку.

На рисунке 4 представлены графики переходных процессов в контуре скорости при введении блока ограничения тока.



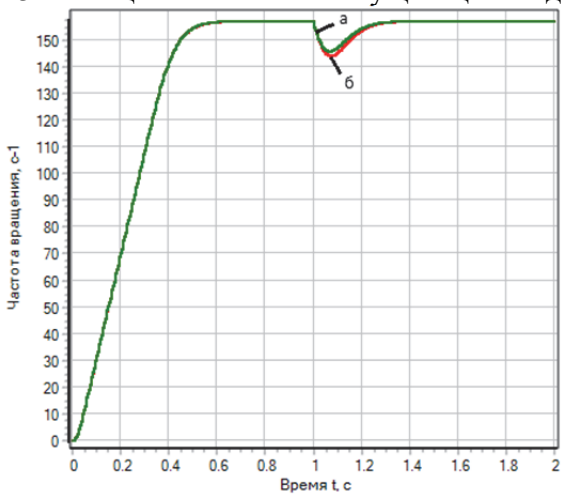
а – Система с ПИД-регулятором; б – система с ПИ-регулятором.

Рисунок 2 – Сравнение переходных процессов в контуре скорости при $\omega_{ос}$=30



а – Система с ПИД-регулятором; б – система с ПИ-регулятором.

Рисунок 3 - Реакция систем на возмущающее воздействие



а – Система с ПИД-регулятором; б – система с ПИ-регулятором.

Рисунок 4 – Переходные характеристики систем с ограничениями координат

Как и ожидалось, переходные характеристики по задающему воздействию с ПИ и ПИД регуляторами совпали (ток ограничен), а реакция на возмущающее воздействие системы с ПИД-регулятором соответствует реакции представленной на рисунке 3.

Предложенный подход к синтезу системы управления контуром скорости электропривода показал, что введение ПИД-регулятора с использованием инструментов модального управления позволяет повысить быстродействие и уменьшить динамическую ошибку при реакции на возмущающее воздействие. В системе с ПИД-регулятором скорости автономность контуров тока и скорости сохраняются. Введение блоков ограничения (в том числе и скорости) позволяет ограничивать переменные в соответствии с требуемыми значениями и устраняет часто обсуждаемую в научных статьях проблему модального управления электроприводами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

3. Hybrid approach to synthesis of electromechanical block control system of mechatronic module / A. Gorkavyy, M. Gorkavyy, M. Melnichenko, A. Kuznetsov // Proceedings of the iv international scientific conference on advanced technologies in aerospace, mechanical and automation engineering. – 2021. – (MIST: Aerospace-IV 2021)

4. Мирошник, И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы. –: СПБ.: Питер, 2005. - 333 с.

5. Improving the Functioning of the Cybernetic Control System of the Mechatronic Module of the Robotic Complex / A.I. Gorkavyy, M.A. Gorkavyy, M.A. Melnichenko, A.V. Berkh // Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. – 2021.

6. Системы управления электроприводов / В. М. Терехов, О. И. Осипов // В. М. Терехов, О. И. Осипов ; под ред. В. М. Терехова. - 3-е изд., стер. - Москва : Академия, 2008. - 299, [1] с. : ил., табл.; 22 см. - (Высшее профессиональное образование. Электротехника).; ISBN 978-5-7695-5257-1 (В пер.)

УДК 621.316:621.3.07

Бутко Владимир Павлович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Butko Vladimir Pavlovich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кузьмин Роман Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuzmin Roman Vyacheslavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА В КАЧЕСТВЕ БАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ МИКРОГЭС

THE POSSIBILITY OF USING TRANSFORMER-TYPE HEATING DEVICES AS BALLAST LOAD FOR MICROHYDRO POWER STATIONS

Аннотация. В работе рассматривается возможность использования нагревательных устройств трансформаторного типа в качестве балластной нагрузки в системе стабилизации и регулирования выходных параметров микроГЭС. Описывается стандартная конструкция устройств данного типа. Выявлены параметры устройств, которые будут необходимы для дальнейшего исследования системы стабилизации с нагревателями трансформаторного типа.

Abstract. The paper examines the possibility of using transformer-type heating devices as a ballast load in the system of stabilization and regulation of the output parameters of a micro hydroelectric power station. The standard design of devices of this type is described. The parameters of the devices that will be necessary for further study of the stabilization system with transformer-type heaters are identified.

Ключевые слова: микроГЭС, балластная нагрузка, нагревательные устройства трансформаторного типа.
Key words: microHPP, ballast load, transformer-type heating devices.

Вопрос регулирования и стабилизации выходных параметров источников электрической энергии при случайных и непредсказуемых изменениях суточной нагрузки является одним из ключевых при проектировании данных систем. При создании систем типа микроГЭС одним из самых распространённых способов стабилизации является использование систем автобалластной нагрузки (рисунок 1), суть которых заключается в автоматическом перераспределении энергии между потребителями, часть из которых допускает частые скачки или полное отсутствие энергии [1, 2].

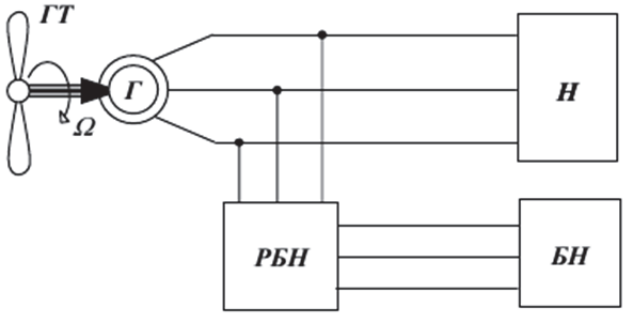


Рисунок 5 - Структурная схема стабилизации параметров микроГЭС автобалластного типа: ГТ – гидротурбина; Г – генератор; Н – полезная нагрузка; РБН – регулятор балластной нагрузки; БН – балластная нагрузка

Чаще всего такими потребителями являются различные нагревательные элементы, которые рассеивают тепловую энергию в атмосферу. В связи с чем представляется возможность использовать рассеиваемую тепловую энергию на нужды потребителей. Следовательно, в качестве балластной нагрузки можно использовать электронагреватели трансформаторного типа [3]. Цель работы: проанализировать возможность использования нагревательных устройств трансформаторного типа в качестве балластной нагрузки в системе регулирования и стабилизации выходных параметров микроГЭС.

Задачи:

- Описать стандартную конструкцию нагревательных устройств трансформаторного типа;

- Выявить параметры, которые будут необходимы для дальнейших расчетов и последующего предварительного имитационного моделирования системы стабилизации.

Нагревательные устройства трансформаторного типа представляют собой специальные трансформаторы, вторичная обмотка которых выполнена в виде короткозамкнутого витка. На рисунке 2 приведен пример такого устройства, в качестве основного теплоносителя выступает жидкая среда, а само устройство крепится к батарее отопления [4]. Передача тепла осуществляется за счет конвективного теплообмена жидкой среды внутри замкнутого контура батарея-вторичная обмотка.

Кроме нагревательных устройств с жидким теплоносителем существуют и нагреватели с бифилярной и гофрированной вторичными обмотками, без теплоносителя [5].

Однако, нужно учитывать, что нагрев таких устройств должен происходить постоянно, следовательно, использование их в качестве балластной нагрузки, которая подвержена постоянным отключениям не представляется возможным. Но следует отметить, что возможно их использование в качестве постоянного балласта с изменяемыми характеристиками. Для последующего исследования возможности использования описанных устройств в качестве балласта необходимо определиться с их характеристиками, которые будут использованы в процессе имитационного моделирования системы.

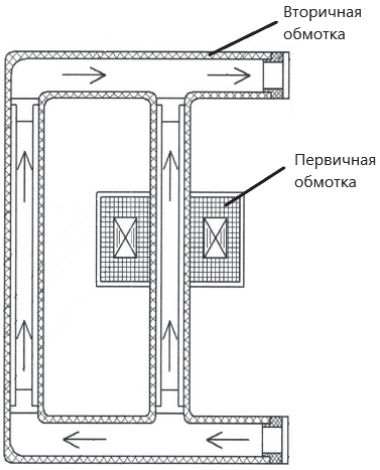


Рисунок 6 - Нагревательное устройство трансформаторного типа для радиаторов отопления

Стандартные характеристики балласта:

- Мощность, Вт;
- Напряжение, В;
- Сопротивление контура, Ом.

Для нагревателей трансформаторного типа необходимо выделить еще следующие характеристики, в добавок к вышеперечисленным:

- Число витков первичной обмотки;
- Эффективная площадь обогрева, $м^2$;
- Температура нагрева вторичной обмотки (теплоносителя), ^0C.

Число витков первичной обмотки позволит вычислить коэффициент трансформации и узнать номинальные параметры вторичной обмотки, а эффективная площадь обогрева и температура позволят подобрать нагреватель под конкретного потребителя.

Исходя именно из этих параметров в будущем будет производиться моделирование системы и дальнейший анализ ее эффективности.

В ходе работы была рассмотрена возможность использования нагревательных устройств трансформаторного типа в качестве балластной нагрузки в системе стабилизации и регулирования выходных параметров микроГЭС. Описана стандартная конструкция таких устройств и приведены примеры конструкции с использованием разных сред теплоносителя. Выбраны необходимые характеристики нагревательных устройств для их дальнейшего имитационного моделирования и анализа эффективности в составе системы стабилизации и регулирования выходных параметров методом автобалластной нагрузки для микроГЭС.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бутко, В. П. Способы регулирования и стабилизации выходных параметров генератора в составе микроГЭС / В. П. Бутко, Р. В. Кузьмин // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 05–11 декабря 2022 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 164-167. – EDN QWGFJN.

2. Бутко, В. П. Система децентрализованного электроснабжения на базе микроГЭС с автобалластной системой стабилизации выходных параметров / В. П. Бутко, Р. В. Кузьмин // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2024. – № 1(38). – С. 26-30. – EDN FISDXQ.

3. Зар, Н. Н. Классификация нагревательных элементов трансформаторного типа / Н. Н. Зар, А. В. Сериков // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-

Амуре, 05–06 сентября 2018 года / Ответственный редактор С.И. Сухоруков. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2018. – С. 83-87. – EDN YVTHNR.

4. Сергиенко, И. С. Применение принципа трансформаторного нагрева для стандартных радиаторов отопления / И. С. Сергиенко, А. В. Янченко // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи : материалы IV российской молодежной научной школы-конференции: в 2 томах, Томск, 01–03 ноября 2016 года / Томский политехнический университет. Том 2. – Томск: ООО «ЦРУ», 2016. – С. 190-192. – EDN XGZXGV.

5. Ким, К. К. Теплогенерирующие электромеханические устройства и комплексы : монография / К. К. Ким, С. Н. Иванов, В. М. Кузьмин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2023. — 418 с. — ISBN 978-5-4497-2461-8.

УДК 681.5

Бутрамеева Олеся Анатольева, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Butrameeva Olesja Anatolevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Егоров Владислав Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Egorov Vladislav Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Electric drive and automation of production plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

SIMULATION OF THE OPERATION OF A STEPPER MOTOR

Аннотация. Выполнен поиск математической модели шагового электродвигателя. Приводится математическое описание шагового электродвигателя гибридного типа. Описаны допущения, при которых применима предлагаемая модель. Реализована модели шагового электродвигателя в пакете MatLab Simulink. Предложен вариант простейшего задатчика шагов на входе модели электродвигателя. Приведены результаты моделирования шагового электродвигателя гибридного типа.
Abstract. A search for a mathematical model of a stepper motor is performed. A mathematical description of a hybrid stepper motor is given. The assumptions under which the proposed model is applicable are described. A stepper motor model is implemented in the MatLab Sim-ulink package. A variant of the simplest step setter at the input of the motor model is pro-posed. The results of modeling a hybrid stepper motor are given.
Ключевые слова: математическая модель, шаговый электродвигателя,
моделирование, MatLab Simulink.
Key words: mathematical model, stepper motor, modeling, MatLab Simulink.

В современном промышленном оборудовании, оргтехнике, робототехнических системах широко используется электропривод на базе шаговых двигателей. Его широкое применение, прежде всего в системах позиционного электропривода роботов, обусловлено отличительными особенностями самого шагового двигателя как электромеханического преобразователя энергии, такими, как возможность отработки малых дискретных перемещений, отсутствие коллекторно-щеточного узла, а также развитием элементной базы и возможностями современных микропроцессорных систем программного управления. На этапе разработки и исследования таких систем невозможно обойтись без математической модели исполнительного механизма (шагового электродвигателя).

В статье приводится математическое описание шагового электродвигателя гибридного типа. Описаны допущения, при которых применима предлагаемая модель. Реализова-

на модель шагового электродвигателя в пакете MatLab Simulink. Предложен вариант простейшего задатчика шагов на входе модели электродвигателя. Приведены результаты моделирования шагового электродвигателя гибридного типа.

Для решения задач анализа и синтеза дискретного электропривода на основе шагового двигателя необходима простая и обладающая достаточной степенью точности математическая модель такой электрической машины. Вопросы её построения рассмотрены в ряде работ [1-3]. Выполнив обзор перечисленных источников, можно описать базовую математическую модель 2-х фазного гибридного шагового электродвигателя следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{di_a}{dt} = \left((U_a + c \cdot w_d \cdot sinF_{re})/R_s - i_a\right)/T_s; \\ \frac{di_b}{dt} = \left((U_b - c \cdot w_d \cdot cosF_{re})/R_s - i_b\right)/T_s; \\ M_d = \frac{c}{2} \cdot i_b \cdot cosF_{re} - \frac{c}{2} \cdot i_a \cdot sinF_{re}; \\ M_{st} = M_{stm} \cdot \sin(2 \cdot p_n); \\ \frac{dw_d}{dt} = (M_d - M_{st} - M_c)/J; \\ \frac{dF_r}{dt} = w_d; \\ F_{re} = p_n \cdot F_r, \end{cases} \quad (1)$$

где U_a, U_b, i_a, i_b– напряжения и токи фаз, шагового двигателя; M_d, w_d, F_r, – момент, скорость и угол поворота вала двигателя; M_{st}, M_c – статический фиксирующий момент от постоянных магнитов ротора и момент нагрузки шагового двигателя; R_s, T_s – сопротивление, постоянная времени фазы; J, c, p_n – момент инерции ротора, конструктивный коэффициент и число пар полюсов машины.

Модель справедлива, при следующих допущениях:

- не учитывается насыщение магнитопровода и влияние вихревых токов в магнитопроводе;
- рабочий зазор машины – равномерный;
- гармонические составляющие тока, магнитодвижущей
силы, потока и ЭДС - отсутствуют;
- взаимная индуктивность фазных обмоток несущественна.

Структурная схема модели 2-х фазного гибридного шагового электродвигателя, соответствующая системе уравнений (1), приведена на рисунке 1.

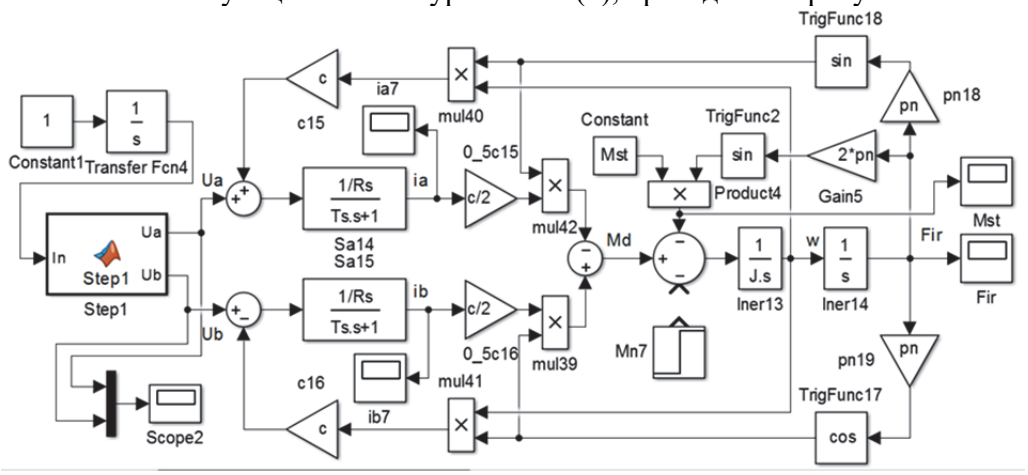


Рисунок 1 – Структурная схема модели 2-х фазного гибридного шагового электродвигателя

Параметры модели: Ls=0.00024; Rs=0.9; Ts=Ls/Rs; pn=50; c=0.4; J=0.0028; Mst=1.

Реализация задатчика шагов Step1, формирующего фазные напряжения Ua и Ub, показана на рисунке 2. Частота входного сигнала задатчика шагов равна 1 Гц.

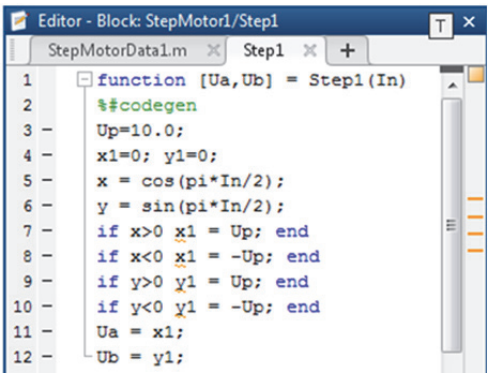


Рисунок 2 – Реализация задатчика шагов Step1

Результаты моделирования 2-х фазного гибридного шагового электродвигателя, показаны на рисунках 3 и 4.

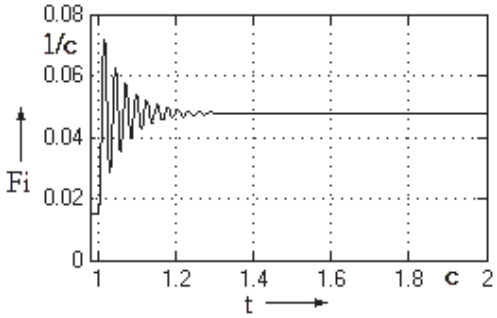


Рисунок 3 – Переходный процесс по углу поворота вала двигателя

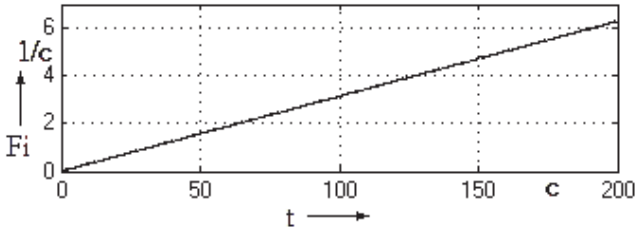


Рисунок 4 – Поворот вала двигателя на один оборот (6,28 радиана) за 200 шагов

В результате моделирования модели двухфазного гибридного шагового электродвигателя были получены следующие результаты:

- угловое перемещение ротора двигателя за 1 шаг составляет 0,0314 радиана (рисунок 3);

- электродвигатель, имеющий 50 пар полюсов, перемещается на 6,28 радиана за 200 шагов (рисунок 4).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что описанная модель двухфазного гибридного шагового электродвигателя, работоспособна и может использоваться при решении задач анализа и синтеза дискретного электропривода на основе шагового двигателя.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Емельянов, А. В. Шаговые двигатели : учебное пособие / А. В. Емельянов, А. Н. Шилин ; А. В. Емельянов, А. Н. Шилин; Федеральное агентство по образованию, Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград : Политехник, 2005. – 45 с. – ISBN 5-230-04591-4. – EDN QMPZWJ.

2. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Т.Кенио, - пер. с англ. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. - 200 с.

3. Acarnley P.P. Stepping Motors: A Guide to Theory and Practice. / P.P. Acarnley. – London : The Institution of Electrical Egineers, 2002. – 159 p.

УДК 332.8
Верстин Николай Александрович, аспирант кафедры «Менеджмент и инновации», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Verstin Nikolay Aleksandrovich, Postgraduate student of the Department of Management and Innovation, National Research Moscow State University of Civil Engineering
Глазкова Валерия Викторовна, доктор экономических наук, доцент, доцент кафедры «Менеджмент и инновации», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Glazkova Valeria Viktorovna, Doctor of Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management and Innovation, National Research Moscow State University of Civil Engineering

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ СФЕРЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПОЗИЦИИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ

MANAGING THE DEVELOPMENT OF THE HEAT SUPPLY SECTOR FROM THE PERSPECTIVE OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC BALANCE

Аннотация. Целью исследования является формирование подхода к управлению развитием сферы теплоснабжения с позиции эколого-экономической сбалансированности. В результате исследования рассмотрено содержание понятия эколого-экономического управления, выделены его основные принципы, а также сформирован подход к эколого-экономическому управлению развитием сферы теплоснабжения. Определено, что применение эколого-экономического управления к процессам развития теплоснабжения позволит осуществлять процессы модернизации теплоснабжения не только с позиций экономической эффективности, но и с позиции достижения сферой свойства экологической безопасности.
Annotation. The purpose of the study is to form an approach to managing the development of the heat supply sector from the perspective of ecological and economic balance. As a result of the research, the content of the concept of ecological and economic management is considered, its basic principles are highlighted, and an approach to ecological and economic management of the development of the heat supply sector is formed. It is determined that the application of ecological and economic management to the processes of heat supply development will allow for the modernization of heat supply not only from the standpoint of economic efficiency, but also from the standpoint of achieving the environmental safety property.
Ключевые слова: сфера теплоснабжения, организации теплоснабжения, забота об окружающей среде, эколого-экономическое управление
Key words: sphere of heat supply, organization of heat supply, environmental protection, ecological and economic management

Сфера теплоснабжения выступает одной из наиболее значимых социально-экономических сфер топливно-энергетического комплекса (далее ТЭК) России, обеспечивающих население страны теплом. Анализ функционирования сферы, а также исследование работ отечественных авторов, посвященных оценке состояния сферы теплоснабжения [2,5], позволяет сделать вывод, что в настоящий момент она требует повышения устойчивости, модернизации морально и физически устаревшего оборудования, износ которого значителен (рисунок 1,2).

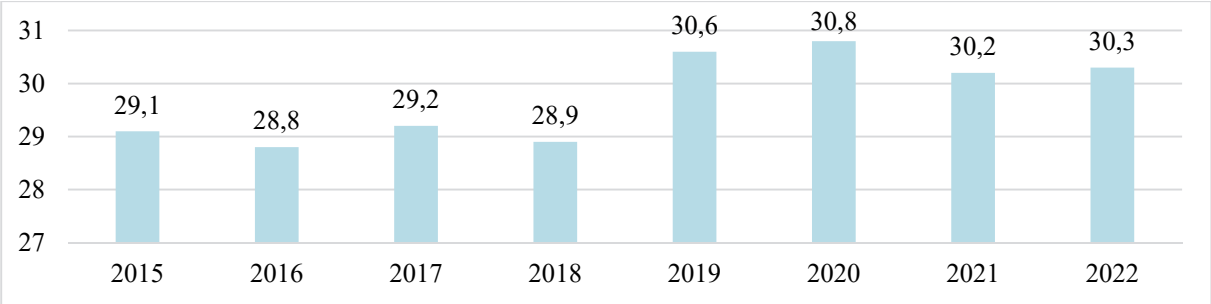


Рисунок 1 – Доля тепловых и паровых сетей, нуждающихся в замене, в общей протяженности тепловых и паровых сетей в РФ за период 2015-2022 гг., % (составлен основе данных Росстата [4])

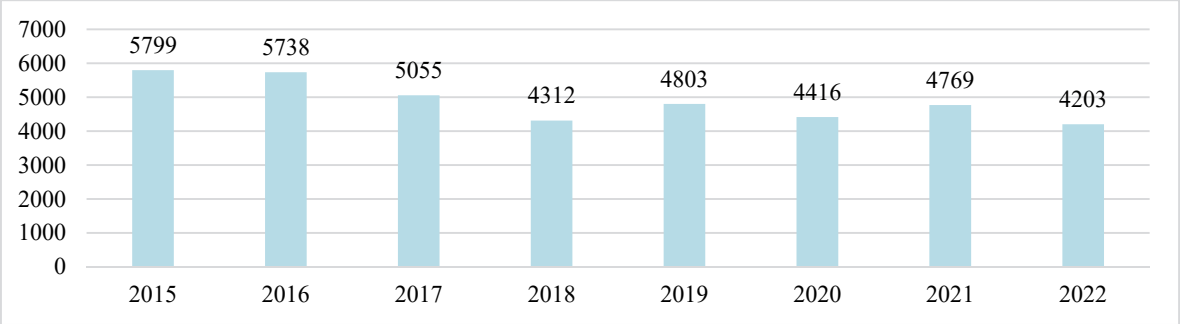


Рисунок 2 – Число аварий на источниках теплоснабжения и сетях в РФ за период 2015-2022 гг., ед. (составлена на основе данных Росстата [4])

Энергетическая стратегия России до 2035 года, определяющая, в том числе, направления стратегического развития для сферы теплоснабжения, закрепляет переход отечественной энергетики на новый энергетический уклад. Одним из актуальных трендов данного перехода являются процессы энерго- и ресурсосбережения и необходимость осуществлять заботу об окружающей среде. В разрезе исследуемой сферы ТЭК, данные положения, характерные для энергетического перехода, можно рассмотреть с позиции использования источников энергии и ресурсов для получения тепла, которые в меньшей степени загрязняют окружающую среду, то есть направлены на минимизацию негативного влияние на экологию. Отсюда актуальным становится вопрос управления развитием сферы теплоснабжения с позиций эколого-экономической сбалансированности, что определило цель настоящего исследования. Для достижения цели исследования необходимо решить ряд задач, к которым относится рассмотрение содержания понятия эколого-экономического управления (далее ЭЭУ) и выделение его основных принципов, а также формирование подхода к ЭЭУ развитием сферы теплоснабжения.

С учетом ориентации сферы теплоснабжения на минимизацию негативного влияния на окружающую среду, на наш взгляд, процесс модернизации и развития сферы может проходить по принципу эколого-экономической сбалансированности, который подразумевает достижение баланса экономического роста сферы и возможности заботы об окружающей среде и снижения экологического загрязнения в ходе функционирования и развития теплоснабжения [3]. Анализ зарубежной литературы показал, что ЭЭУ должно быть выстроено с позиции двух составляющих в процессе управления: с учетом выполнения экологических норм и задачи охраны окружающей среды. Российский подход к определению содержания ЭЭУ выделяет три принципиальные характеристики: многонаправленность целей (ориентация на экологию, общественность и рынок), всеобъемлющий характер (охватывает производственные функции и организацию в целом), проактивное поведение (экологическая активность хозяйствующего субъекта должна быть основана на собственных инициативах и выходить за рамки исключительного выполнения законодательства) [1,3]. Основываясь на подходах к определению ЭЭУ, выделим на рисунке 3 его основные принципы.

Стратегичность	•ЭЭУ должно осуществляться в соответствии с четкой стратегией и целями развития сферы
Последовательность	•отражает связи экологических проблем, учет прямых и отдаленных последствий их решения. Приоритетность и последовательность решения проблем должны соответствовать экологическим законам
Своевременность	•необходимо определить момент наиболее эффективного решения экологических проблем, предупреждая крайнее обострение негативного влияния на экологию, минимизируя последствия
Предупредительность	•так как в экологии многие процессы могут быть необратимыми, механизм ЭЭУ должен быть ориентирован на предупредительные меры возникновения кризисных ситуаций
Функциональная интеграция	•необходимо интегрировать функцию управления по целям экологического развития
Ответственность	•развитая сбалансированная ответственность по факторам экологической эффективности управления

Рисунок 3 — Принципы ЭЭУ [1; 3]

Таким образом, концепция ЭЭУ предполагает одновременное решение двух вопросов в управлении: повышение эффективности деятельности организации и снижение отрицательного воздействия на окружающую среду в результате своей деятельности. Применительно к процессам развития сферы теплоснабжения ЭЭУ возможно представить следующим образом (рисунок 4).

Дадим пояснения к элементам, отраженным на рисунке 4. Согласно российскому законодательству за процессы развития теплоснабжения территории несет ответственность единая теплоснабжающая организация (далее ЕТО), которая выбирается и назначается органами государственной власти на уровне региона. ЕТО также отвечает за модернизацию и технологическое развитие системы теплоснабжения на вверенной ей территории. В этой связи интегрировать ЭЭУ предлагается именно в процессы функционирования ЕТО путем разработки и внедрения норм и правил осуществления деятельности ЕТО с учетом экологической повестки и включением в результаты производственной и хозяйственной деятельности ЕТО индикаторов, отражающих выполнение экологических норм.



Рисунок 4 – Подход к ЭЭУ развитием сферы теплоснабжения (составлен авторами)

Таким образом, применение ЭЭУ к процессам развития теплоснабжения, определяющего интеграцию принципов заботы об окружающей среде в хозяйственную деятельность организаций теплоснабжения при сохранении вектора на выполнение экономических показателей их функционирования, позволит осуществлять процессы модернизации теплоснабжения не только с позиций экономической эффективности, но и с позиции достижения сферой свойства экологической безопасности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бородин А.И. Эколого-экономическое управление предприятием в эффективной экономике / А.И. Бородин // Вестник Московского Университета. Серия 6. Экономика. – 2007. – №1. – С.88-113.

2. Верстина, Н.Г. Особенности управленческих технологий в условиях освоения теплоснабжающими организациями «умных тепловых сетей» (Smart Grid) / Н.Г. Верстина, Е.Г. Евсеев, О.Ф. Цуверкалова // Управленческий учет. – 2021. – №8-3. – С.526-534.

3. Глазкова, В.В. Факторы, оказывающие влияние на эколого-экономическое управление теплоснабжающими организациями / В.В. Глазкова // V Международная научно-практическая конференция «Развитие современной науки и технологий в условиях трансформационных процессов», г. Москва. – 2022. – С.298-303.

4. Материалы Федеральной службы государственной статистики. Раздел «Теплоснабжение населенных пунктов по Российской Федерации, годы (1995, 2000, 2004-2022)». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Jkh3.xlsx (дата обращения 31.03.2025).

5. Цуверкалова, О.Ф. Организационно-экономический механизм развития теплоснабжающих организаций с учетом приоритетов обеспечения тепловой энергией потребителей / О.Ф. Цуверкалова // Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук по специальности 08.00.05 - Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление организациями, отраслями, комплексами (промышленность)). – Москва – 2021. – 213 с.

УДК 778.64

Войтович Анастасия Романовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Voitovich Anastasia Romanovna, student of Komsomolsk- na-Amure State University

Зайченко Илья Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на Амуре государственный университет

Zaichenko Ilya Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Komsomolsk- na-Amure State University

ВОЗМОЖНОСТИ КАСТОМИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ДЕТЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

POSSIBILITIES OF CUSTOMIZATION OF MEDICAL PRODUCTS FOR PATIENTS WITH DISABILITIES

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность кастомизации медицинских изделий для детей с ограниченными возможностями. Подчеркивается важность индивидуального подхода к разработке и адаптации медицинских решений, направленных на удовлетворение уникальных потребностей детей, анализируются аспекты кастомизации, в том числе адаптация размеров и форм, что способствует повышению комфорта их использования. В данной статье приводится пример внедрения таких изделий, демонстрирующий их влияние на качество жизни детей с ограниченными возможностями и уровень их социальной интеграции.

Annotation. This article examines the possibility of customizing medical devices for children with disabilities. It emphasizes the importance of an individual approach to the development and adap-

tation of medical solutions aimed at meeting the unique needs of children, and analyzes aspects of customization, including the adaptation of sizes and shapes, which contributes to increasing the comfort of their use. This article provides an example of the implementation of such products, demonstrating their impact on the quality of life of children with disabilities and the level of their social integration.
Ключевые слова: кастомизация, детские медицинские изделия, ограниченные возможности здоровья, окклюдер, 3D-печать
Keywords: customization, children's medical devices, disabilities, occluder, additive technologies

Кастомизация медицинских устройств подразумевает модификацию товаров и сервисов в соответствии с уникальными нуждами и желаниями потребителей. В сфере медицинских изделий этот принцип приобретает особое значение, в частности, когда речь идет о детях с особыми потребностями. Зачастую, такие пациенты испытывают разнообразные физические и функциональные ограничения, что обусловливает необходимость индивидуального подхода к подбору и применению медицинских устройств.

Целью кастомизации медицинских изделий для детей является создание решений, повышающих качество жизни детей с ограниченными возможностями. Это может включать в себя изменение характеристик, таких как габариты, конфигурация, материалы и функциональность устройств, что, в свою очередь, увеличивает удобство и безопасность, а также способствует более действенной терапии. Медицинские изделия, разработанные с учетом индивидуальных потребностей, могут существенно улучшить взаимодействие ребенка с окружающим миром и содействовать социальной адаптации.

Одним из ключевых прорывов в 3D-печати стало освоение разнообразных материалов. Если в начале развития технологии преобладали пластмассы, то теперь доступны металлы, керамика, композитные составы и биоматериалы. Высокоэффективные полимеры и металлические сплавы находят широкое применение в авиации, космонавтике и автомобилестроении, а биосовместимые материалы стимулируют инновации в сфере здравоохранения. Постоянное совершенствование характеристик материалов способствует расширению областей применения 3D-печати [1].

Эта технология перспективна для изготовления медицинских изделий, особенно для нужд детей в инклюзивном обществе. В России, к сожалению, сохраняются негативные тенденции в динамике детского здоровья. Согласно официальной статистике, детское население сокращается, а заболеваемость среди детей ежегодно увеличивается. Высока доля новорожденных с проблемами здоровья и неврологическими нарушениями. Здоровыми можно назвать лишь малую часть детей. Согласно официальной статистике, численность детского населения неуклонно снижается, а распространенность патологии и заболеваемости среди детей ежегодно увеличивается на 4-5%. Число новорожденных с проблемами здоровья и физиологической незрелостью составляет 74%, а детей с неврологической патологией — до 86%. Абсолютно здоровыми можно считать не более 10% детей дошкольного возраста и 4% подростков [2].

По статистике, в Российской Федерации проживает 27 миллионов детей, и, к сожалению, с каждым годом растет число детей, нуждающихся в различных средствах медицинской коррекции тех или иных особенностей здоровья.

Так, самым распространенным нарушением зрения в раннем возрасте на сегодняшний день является амблиопия. Эта патология встречается у 5 детей из 100, т. е. в стране 1 350 000 вынуждены носить окклюдеры.

Решить эту проблему можно с помощью 3D-печати. С использованием этой технологии уже разработаны первые модели окклюдеров из пластика (рисунок 1). Также, поскольку сейчас развиваются возможности аддитивных технологий печати не только из пластика, напечатаны силиконовые накладки.



Рисунок 1 – Модели первых кастомизированных окклюдеров

Поскольку эти продукты потребителям показались бы скучными, было принято решение об их кастомизации. Кастомизация представляет собой процесс приведения серийного товара в соответствие с запросами отдельного покупателя посредством внесения частичных изменений, добавления компонентов или аксессуаров [3]. Для успешной реализации этой стратегии важно убедить клиента в уникальности создаваемого продукта, разработанного специально для удовлетворения его личных потребностей.

Преобразование продукта под нужды потребителя, как материальное изменение, определяется масштабом и типом модификаций, адаптивностью производственного процесса и степенью вовлеченности клиента и компании. В исследованиях [4; 5] проведен обзор применяемых методик кастомизации, предложенных экспертами в разных сферах, и их общая классификация, представленная на рисунке 2.



Рисунок 2 – Обобщенная классификация подходов кастомизации

Подходы кастомизации с описанием представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Подходы кастомизации

Классификация	Подход	Описание
По характеру изменения продукта	Экспертная	Оценка необходимости изменений продукта определяется экспертом, который решает, какие корректировки следует внести, чтобы продукт максимально соответствовал предъявляемым требованиям.
	Модульная	Единое изделие разделяется на составные, автономные части, что дает возможность кастомизировать каждую из них под определенные потребности или обстоятельства. Подобная фрагментированная конструкция гарантирует адаптивность и способность к изменению без обязательной реконструкции всего изделия.

Продолжение таблицы 1

Классификация	Подход	Описание
	Внешняя	Незначительные изменения изделия, которые не затрагивают его базовый дизайн.
	Смешанная	Некоторые аспекты заказа формируются, исходя из советов изготовителя, в то время как другие определяются желаниями заказчика.
По производственному подходу	Горизонтальная	Используются основные компоненты оригинального продукта.
	Вертикальная	Используются уникальные компоненты и детали, разработанные или отобранные индивидуально для каждого клиента.
По критерию взаимодействия потребителя	Совместный	Процесс, где компания, опираясь на первичный анализ запросов клиента, предоставляет релевантные возможности индивидуализации продукта.
	Адаптивный	Клиент участвует в формировании заказа и имеет возможность влиять на итоговую конфигурацию продукта. Покупатель принимает непосредственное участие в процессе создания заказа и может вносить коррективы в конечную сборку товара.
	Косметический	Товар отвечает потребностям значительной части покупателей, однако изготовитель может внести в него незначительные изменения, учитывая индивидуальные предпочтения клиента.
	Прозрачный	Покупателю напрямую не сообщают, что данный товар или услуга созданы специально для него, беря во внимание его личные вкусы и потребности.
По степени изменения продукта	«Тюнинг»	Ориентирован на применение стандартных компонентов, материалов и общепринятых технических решений.
	«Тейлоризм»	Первоначальный вариант продукта способен значительно трансформироваться на этапе разработки, до такой степени, что фактически создается заново.

Сама технология печати будет производиться на основе 3D модели по предпочтениям клиентов, а затем отправляться в печать.

Кастомизировать детские медицинские изделия можно следующими образами: выбор дизайна для печати (понравившиеся логотипы и т.п.); выбор цвета изделия; декорирование стразами; добавление фигурок в дизайн; адаптация размеров и формы.

В современном мире адаптация медицинских устройств для детей с особыми потребностями приобретает огромное значение, поскольку дает возможность модифицировать продукт, учитывая индивидуальные предпочтения и нужды пользователей. В настоящее время наблюдается бурный прогресс в области технологий трехмерной печати и моделирования, что открывает новые перспективы в производстве персонализированных медицинских изделий. Эти технологии позволяют создавать уникальные продукты, идеально соответствующие анатомическим и физиологическим особенностям конкретного ребенка. Применение 3D-печати в кастомизации позволяет воплощать в жизнь самые сложные конструктивные идеи, изготавливать изделия с оптимизированной структурой и весом, что является критически важным для детей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gibson I., Rosen D. W., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing // Springer. — 2015.

2. Основные тренды детского здоровья в федеральных округах и регионах России в последнее десятилетие. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-trendy-detskogo-zdorovya-v-federalnyh-okrugah-i-regionah-rossii-v-poslednee-desyatiletie (дата обращения: 05.04.2025).

3. Принцип кастомизации в швейном производстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/printsip-kastomizatsii-v-shveynom-proizvodstve (дата обращения: 05.04.2025).

4. Вапнярская, О.И. Генезис и современные подходы к определению кастомизации / О.И. Вапнярская , Сервис в России и за рубежом. – 2014. – № 6(53). – С. 189-201.

5. Азоев, Г. Л. Технологии кастомизации / Г. Л. Азоев, В. С. Старостин // Маркетинг. – 2013. - № 1(128). – С. 86-102.

УДК 004.021

Ворощенко Василий Даниилович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Voroschenko Vasily Danilovich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University
Кучерова Алина Игоревна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kucherova Alina Igorevna, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ И МЕТОДОВ СЛИЯНИЯ СЕНСОРОВ

ANALYSIS OF EXISTING PROBLEMS OF AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS AND SENSOR FUSION METHODS

Аннотация. Статья посвящена анализу ключевых проблем автономных мобильных манипуляторов и методов слияния данных сенсоров, направленных на повышение точности и эффективности их работы в динамически изменяющихся условиях. Актуальность исследования обусловлена возрастающей ролью автономных мобильных манипуляторов в рамках индустрии 4.0, где они применяются для автоматизации производственных и логистических процессов. Основные задачи включают навигацию, точную локализацию, избегание препятствий и интеграцию данных от системы мультимодальной сенсорики.

Abstract. The article is devoted to the analysis of key problems of autonomous mobile manipulators and methods of sensor data fusion aimed at increasing the accuracy and efficiency of their work in dynamically changing conditions. The relevance of the study is due to the increasing role of autonomous mobile manipulators within the framework of Industry 4.0, where they are used to automate production and logistics processes. The main tasks include navigation, precise localization, obstacle avoidance and integration of data from a multimodal sensor system.

Ключевые слова: автономные мобильные манипуляторы, слияние сенсоров, семантическая навигация, локализация, избегание препятствий, датчики, энергоэффективность.

Key words: autonomous mobile robots, sensor fusion, semantic navigation, localization, obstacle avoidance, sensors, energy efficiency.

Автономные мобильные манипуляторы (АММ) стали ключевым элементом индустрии 4.0, обеспечивая автоматизацию процессов в производстве и логистике. В промышленности АММ используются для автоматизации сборки, погрузки и складирования материалов, что повышает производительность и гибкость.

Однако внедрение АММ столкнулось с задачами точного позиционирования в динамических средах, избеганием столкновений и интеграцией данных с множества сенсоров. Эти проблемы критичны для задач, требующих высокой точности, например, в авиастрои-

тельных процессах. Динамичные среды, неполная информация о среде и зашумленные данные сенсоров усложняют навигацию и локализацию роботов.

Цель: провести анализ существующих подходов и методов, направленных на повышение точности и эффективности АММ.

Анализ позволит выявить эффективность существующих решений и определить текущие направления и тенденции в развитии методов управления АММ. На основе выводов, полученных в ходе анализа, в будущем, будут проводиться соответствующие исследования по разработке новых подходов повышения точности позиционирования и перемещения АММ.

Основные задачи, решаемые для АММ [1] представлены на рисунке 1:

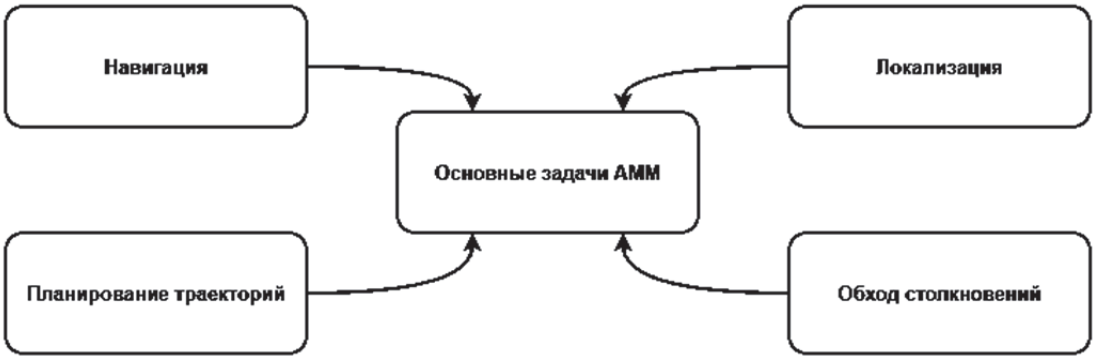


Рисунок 1 – Основные задачи АММ

Навигация включает два уровня: локальный (избегание препятствий) и глобальный (достижение цели в известной среде). Для локальной навигации часто используются карты занятости, тогда как глобальная опирается на топологические модели. Основная сложность заключается в выборе оптимального маршрута в динамической среде. Зачастую в решении этой задачи используются эвристические алгоритмы. Например, метод на основе 3D-геометрии позволяет роботу избегать движущихся препятствий в режиме реального времени [2]. Определение позиции и ориентации робота требует комбинации относительных и абсолютных методов локализации. Относительная локализация (интеграция данных с инерционных датчиков) страдает от накопления ошибок, тогда как абсолютная (GPS, метки) обеспечивает точность, но зависит от внешних условий. Например, использование визуальных меток (искусственных или естественных) повышает надежность, но требует устойчивости к изменениям освещения и помехам.

Алгоритмы обхода столкновений, такие как *Bug algorithm* (*BG*) и *Vector Field Histogram* (*VFH*), обеспечивают безопасное перемещение. *BG* позволяет роботу обходить препятствия по периметру, но требует времени, тогда как *VFH* снижает риски столкновений, используя двумерную гистограмму для выбора направления.

Точная локализация невозможна без системы сенсорики и их интеграции [3]. Среди основных элементов, которые позволяют роботу определить свое положение в пространстве, выделяют:

1. Инерционные датчики (ИД), которые объединяют акселерометры, гироскопы и магнитометры. Акселерометры измеряют линейное ускорение, гироскопы — угловую скорость, а магнитометры — ориентацию относительно магнитного поля Земли. Их главный недостаток — дрейф ошибок, который компенсируется слиянием с данными других сенсоров, например, камер;

2. Монокулярное зрение — это системы с одной камерой, которые дешевле и проще в реализации, чем стереозрение. Они определяют позицию через проекцию 3D-точек на 2D-изображение, используя модель камеры-обскура. Для повышения точности применяются калибровочные маркеры или естественные ориентиры (например, углы стен). Однако в условиях слабой освещенности или динамических изменений среды их эффективность снижается;

3. Ориентиры представляют собой искусственные метки (LED-маркеры, QR-коды), которые легко распознаются, но требуют предварительной установки. Естественные ори-

ентиры (двери, окна) универсальны, но их распознавание сложнее из-за вариативности. Алгоритмы по типу *Scale-Invariant Feature Transform* выделяют ключевые точки, которые позволяют роботу идентифицировать объекты даже при изменении масштаба или угла обзора.

Интеграция данных с множества сенсоров повышает надежность системы с помощью методов слияния данных, они делятся на методы:

1. Конкурентного слияния, где сенсоры измеряют один параметр независимо (например, две камеры). Это снижает риск ошибок, но увеличивает вычислительную нагрузку;

2. Комплементарного слияния. Согласно этому методу датчики дополняют друг друга: ИД компенсирует дрейф камеры в темноте, а камера уточняет позицию при движении;

3. Кооперативного слияния, где данные объединяются для получения новой информации, например, 3D-модели среды из стереопар. Этот метод сложнее в реализации из-за требований к синхронизации и калибровке [4].

Основными алгоритмами слияния являются:

1. Фильтр Калмана. Алгоритм предсказывает состояние робота (позицию, скорость) на основе предыдущих измерений и обновляет их с учетом новых данных. Этот алгоритм оптимален для линейных систем. Расширенный фильтр Калмана применяется для нелинейных моделей, например, при интеграции ИД и визуальных данных [5];

2. Метод Демпстера-Шафера использует «функции доверия» для объединения данных в условиях неопределенности. Например, при построении карты занятости робот учитывает показания лидара и камеры;

3. Фильтр частиц (Particle filter) моделирует распределение вероятностей через набор частиц, что эффективно для нелинейных задач. Применяется в локализации, где робот оценивает свое положение на основе данных сенсоров и карты.

Алгоритмы слияния данных необходимы для:

1. Снижения неопределенности за счет комбинации ИД и камеры, что уменьшает дрейф позиции;

2. Повышения точности с помощью стереозрения, которое дает точные 3D-координаты, дополняя данные лидара;

3. Расширения покрытия с использованием ультразвуковых датчиков, которые могут обнаружить близкие объекты, и камер, которые идентифицируют удаленные объекты;

4. Упрощения системы за счет стандартизации входных данных.

Интеграция этих подходов позволит обеспечить работу АММ в условиях неопределенности. АММ сталкиваются с такими проблемами как: навигация, точная локализация и адаптивное избегание препятствий. Интеграция данных от сенсоров (ИД, камер, лидаров) позволяет компенсировать их индивидуальные ограничения, повышая точность и гибкость в динамичных условиях. Методы слияния данных обеспечивают быструю обработку шумов и неопределенностей, что критично для принятия решений в реальном времени. Несмотря на развитие АММ, остаются проблемы, такие как создание универсальных алгоритмов для работы в полностью неизвестных условиях, минимизация вычислительных затрат и повышение энергоэффективности. Перспективные направления исследований лежат в области семантической навигации, где роботы используют контекстную информацию (например, назначение помещений), а также в разработке адаптивных систем на базе машинного обучения, способных динамически перестраивать параметры слияния данных.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 22-71-10093).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Niloy, M. A., Shama, A., Chakrabortty, R. K., Ryan, M. J., Badal, F. R., Critical design and control issues of indoor autonomous mobile robots: A review //IEEE Access. – 2021. – Т. 9. – С. 35338-35370.

2. Crespo, J., Barber, R., Mozos, O. M. Relational model for robotic semantic navigation in indoor environments //Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2017. – Т. 86. – С. 617-639.
3. Coito, F., Eleutério, A., Valtchev, S., Coito, F. Tracking a mobile robot position using vision and inertial sensor // Technological Innovation for Collective Awareness Systems. Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems, DoCEIS 2014, Costa de Caparica, Portugal, April 7-9, 2014. Proceedings 5. – Springer Berlin Heidelberg, 2014. – С. 201-208.
4. Kelly J., Sukhatme G. S. Visual-inertial sensor fusion: Localization, mapping and sensor-to-sensor self-calibration //The International Journal of Robotics Research. – 2011. – Т. 30. – №. 1. – С. 56-79.
5. Erdem A. T., Ercan A. Ö. Fusing inertial sensor data in an extended Kalman filter for 3D camera tracking //IEEE Transactions on Image Processing. – 2014. – Т. 24. – №. 2. – С. 538-548.

УДК 517.977.5
Геращенко Владислава Владимировна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Geraschenko Vladislava Vladimirovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Горькавый Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Gorkavy Alexander Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМ МОДУЛЕМ

ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF MECHATRONIC MODULE

Аннотация. Сложность синтеза систем управления мехатронными модулями в составе промышленного робота обусловлена изменением их параметров (моментов инерции) и возмущающими воздействиями, обусловленными взаимовлиянием. В работе рассматривается адаптивный подход к синтезу системы управления мехатронным модулем на основе организации скользящего режима с астатической моделью-эталоном для повышения точности функционирования как мехатронного модуля, так и в целом промышленного робота при выполнении технологических операций.
Abstract. The complexity of synthesis of control systems for mechatronic modules in an industrial robot is caused by changes in their parameters (moments of inertia) and perturbing influences due to mutual influence. This paper considers an adaptive approach to the synthesis of a control system for a mechatronic module based on the organization of a sliding mode with an astatic reference model to improve the accuracy of functioning of both the mechatronic module and the industrial robot as a whole when performing technological operations.
Ключевые слова: система управления, адаптивное управление, скользящий режим
Key words: control system, adaptive control, sliding mode

Системы управления с организацией скользящих режимов относятся к классу систем с переменной структурой в классификации адаптивных систем [1; 2]. Они, как правило, имеют в своём составе модель-эталон – модель желаемой системы управления, которая обеспечивает требуемое движение переменных реального объекта в условиях изменения его параметров, но не компенсирует действие возмущений.

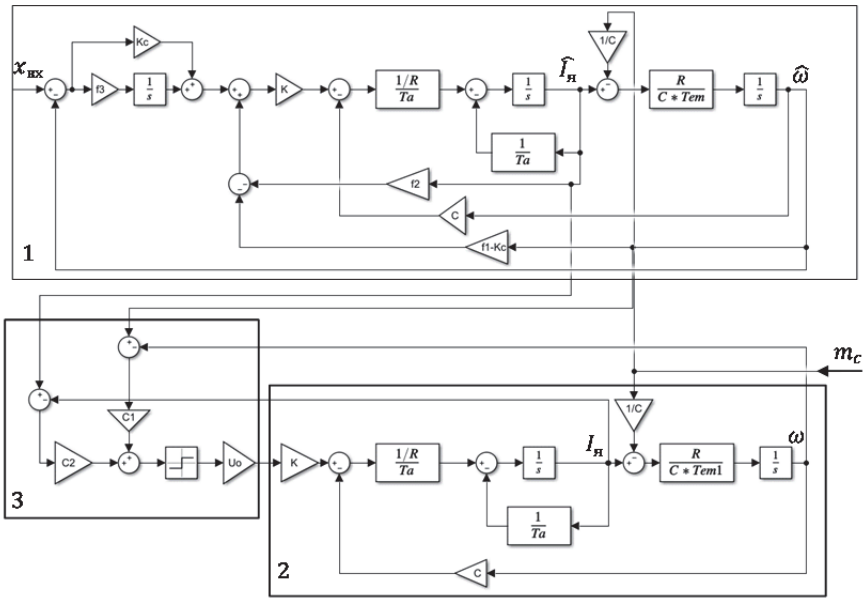
Существующие подходы к противодействию возмущениям, как правило, основываются на компенсационных методиках, которые не всегда эффективны.

Целью данной работы является формирование адаптивной системы управления мехатронным модулем на основе астатической модели-эталона, включение которой в систему управления обеспечивает как инвариантность к изменению параметров, так и частичную инвариантность (в установившемся режиме) при действии внешних возмущений.

На рисунке 1 представлена структурная схема разработанной системы управления мехатронным модулем, которая включает в себя модель-эталон, построенную на принципах модального управления с астатизмом первого порядка; объект управления (мехатронный модуль) и блок организации скользящего режима. Такое построение структуры системы управления позволяет поддерживать требуемые качества управления при изменяющихся параметрах объекта и в условиях действия на объект возмущающего воздействия.

Синтез системы управления производится в два этапа.

На первом этапе разрабатывается модель-эталон на принципах построения модального ПИ-регулятора с целью исключения статической ошибки по возмущающему воздействию [3].



1 – модель-эталон; 2 – объект – мехатронный модуль;
3 – блок организации скользящего режима

Рисунок 1 – Структурная схема модели системы управления электромеханическим объектом

На втором этапе формируется адаптивная система управления на основе организации скользящего режима по ошибкам реальных координат и координат модели-эталона [1; 2]. Производится оценка возмущающего воздействия, приложенного к объекту либо силомоментным датчиком, либо астатическим наблюдающим устройством, и подаётся в астатическую модель-эталон, в которой за счёт модального ПИ-регулятора формируются движения координат, исключающие установившуюся ошибку по возмущению [4].

Закон управления, созданный в модели-эталоне, транслируется в реальный объект посредством блока организации скользящего режима.

На рисунке 2 представлен переходный процесс синтезированной системы по задающему и возмущающему воздействиям.

Из графика следует, что система способна компенсировать действие возмущения в установившемся режиме, сохраняя требуемые динамические показатели, а также инвариантна к изменению момента инерции.

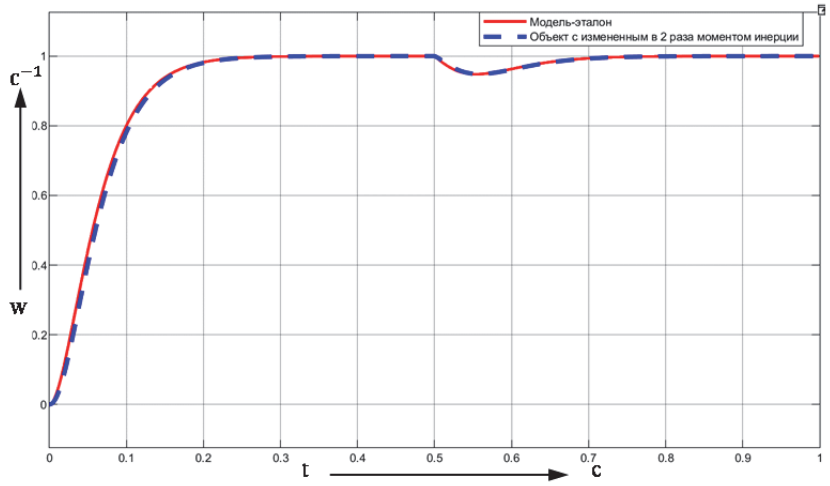


Рисунок 7 – График переходного процесса системы по задающему и возмущающему воздействиям

Результаты расчётов системы управления и проведенных исследований показывают высокую эффективность системы управления мехатронным модулем. При изменении момента инерции в несколько раз в большую и меньшую сторону переходный процесс практически не изменяется относительно заданного. Установившаяся ошибка от действия возмущения отсутствует. Динамическая ошибка – незначительная и может быть уменьшена за счёт дополнительных настроек модели-эталона. Предложенная методика может найти применение в построении систем управления со сложными условиями функционирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Уткин, В. И. Скользящие режимы и их применения в системах с переменной структурой / В. И. Уткин. – Москва : Наука, 1974. – 272 с.

2. Ивайкин В. Использование скользящих режимов в регулировании // «СТА». - 2006. - №1. - С. 90-94.

3. Мирошник, И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы: учеб. пособие / И. В. Мирошник. – Санкт-Петербург : Питер, 2005. – 336 с.

4. Квакернаак, Х. Линейные оптимальные системы управления / Х. Квакернаак, Р. Сиван. – Москва : Мир, 1977. – 656 с.

УДК 621.382

Горовой Артем Назарович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Gorovoy Artem Nazarovich, Student, Komsomolsk-na-Amure State University
Марущенко Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Marushchenko Sergey Grigorievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМ КОЛЛЕКТОРОМ

DEVELOPMENT OF A SOLAR COLLECTOR CONTROL SYSTEM

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы эффективного использования энергии, собираемой солнечным коллектором посредством оптимизации управления ориентацией последнего на солнце. Разработанная система управления позволяет автоматически регулировать положение коллектора относительно солнца и контролировать температуру теплоносителя, для того чтобы добиться максимальной производительности. Предложена структурная схема разработанного устройства и описаны назначение и принципы функционирования входящих в нее блоков.

Annotation. The article considers the issues of efficient use of energy collected by a solar collector by optimizing the control of the latter's orientation to the sun. The developed control system allows automatic adjustment of the collector's position relative to the sun and control of the coolant temperature in order to achieve maximum performance. A structural diagram of the developed device is proposed and the purpose and principles of operation of the units included in it are described.
Ключевые слова: вакуумный солнечный коллектор, шаговый двигатель, микроконтроллер, датчик температуры, солнечный трекер.
Keywords: vacuum solar collector, stepper motor, microcontroller, temperature sensor, solar tracker.

На современном этапе развития техники и технологий все больше внимания уделяется использованию альтернативных источников энергии для удовлетворения энергетических потребностей общества. Одним из таких источников является солнечная энергетика. В настоящее время широкое распространение получили децентрализованные системы отопления на базе солнечных коллекторов [1; 2]. Управление процессами теплообмена в таких системах, как правило, возлагают на систему управления (контроллер). Системы управления солнечными коллекторами позволяют оптимально настраивать их режимы работы в зависимости от погодных условий, времени года и потребности пользователя. Одной из задач при разработке системы управления солнечным коллектором является создание алгоритмов, которые будут обеспечивать автоматизированный мониторинг и управление всеми процессами, связанными с накоплением и использованием солнечной энергии [3]. Целью работы является разработка системы управления солнечным коллектором, с возможностью автоматической ориентации рабочей поверхности коллектора относительно солнца. Разработка такой системы управления становится ключевым фактором для обеспечения максимальной эффективности работы солнечного коллектора и увеличения отдачи энергии.

Солнечные коллекторы позволяют использовать возобновляемую энергию солнца и экономить тепловую энергию, получаемую от традиционных источников. В районах с относительно низкими температурами в осенне-зимний период наибольшей популярностью пользуются вакуумные солнечные коллекторы [4]. Вакуумные коллекторы могут работать при температуре до минус 30 градусов и обладают относительно высоким коэффициентом полезного действия даже в пасмурную погоду. Солнечные коллекторы могут подключаться по одноконтурной или двухконтурной схеме. В северных районах используется двухконтурная схема подключения. Типовая двухконтурная схема солнечного коллектора проточного типа для обеспечения нужд отопления и горячего водоснабжения изображена на рисунке 1.

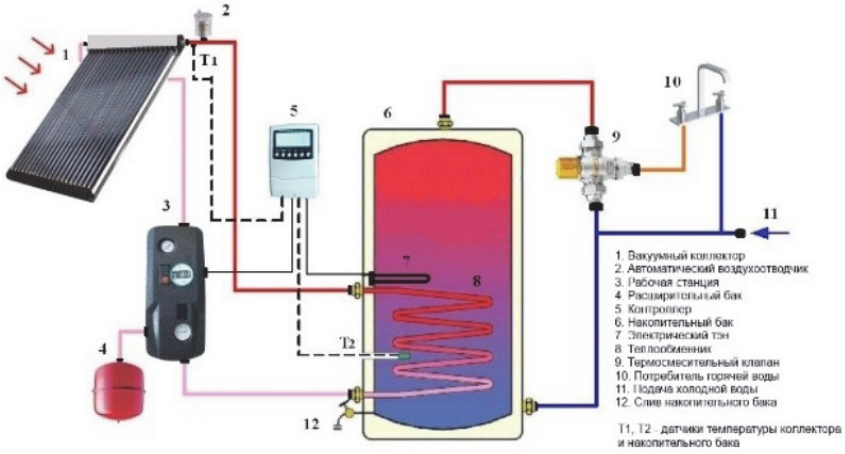


Рисунок 1 – Двухконтурная схема подключения солнечного коллектора

Двухконтурная система, предусматривает наличие бака-аккумулятора, в котором установлен теплообменник. Таким образом, в качестве первого контура выступает солнечный коллектор, связанный с теплообменником сетью трубопроводов, а в качестве вторичного контура выступает система отопления и горячего водоснабжения дома. При этом в

первичном контуре может циркулировать незамерзающая жидкость, а во вторичном теплоноситель отопительной системы (вода). Очевидно, что количество получаемой от солнца энергии будет максимальным, если рабочая поверхность коллектора будет ориентирована так, чтобы угол падения солнечного излучения был 90 градусов или близким к нему. Данную задачу можно решить с помощью системы управления, осуществляющей автоматическое позиционирование рабочей поверхности коллектора относительно солнца.

Структурная схема системы управления изображена на рисунке 2. Основными компонентами системы управления солнечным коллектором являются: клавиатура, индикатор, микроконтроллер, три шаговых двигателя с управляющими драйверами, два датчика температуры контура солнечного коллектора, два датчика температуры контура теплообменника, циркуляционный насос, датчик уровня воды, датчик солнца (солнечный трекер), датчики крайнего положения (концевые выключатели). Для позиционирования солнечного коллектора используется три шаговых двигателя: два вертикальных и один горизонтальный. Вертикальные двигатели изменяют положение коллектора в вертикальной плоскости, регулируя тем самым угол наклона коллектора, что позволяет оптимизировать угол падения солнечных лучей в течение дня. Горизонтальный двигатель отвечает за ориентацию коллектора в горизонтальной плоскости, отслеживая тем самым движение солнца по горизонту, что также способствует более эффективному сбору солнечной энергии. Совместная работа этих двигателей обеспечивает точное позиционирование коллектора и адаптацию его к текущим условиям освещения. Это позволяет максимизировать производительность коллектора в течение всего дня. В настоящее время электронной промышленностью выпускается большое число разнообразных функционально законченных модулей предназначенных для управления исполнительными механизмами. К таким модулям относятся драйверы шаговых двигателей. Драйверы обеспечивают управление работой шаговых двигателей, реализующих точное позиционирование солнечного коллектора. Драйверы преобразуют команды микроконтроллера в последовательность электрические импульсов, подаваемых на обмотки шаговых двигателей. На противоположном конце вала двигателя закреплен инкрементальный энкодер, предназначенный для реализации обратной связи по углу поворота. Концевые датчики определяют достижение крайнего положения солнечным коллектором и служат началом отсчета для определения текущего положения коллектора.

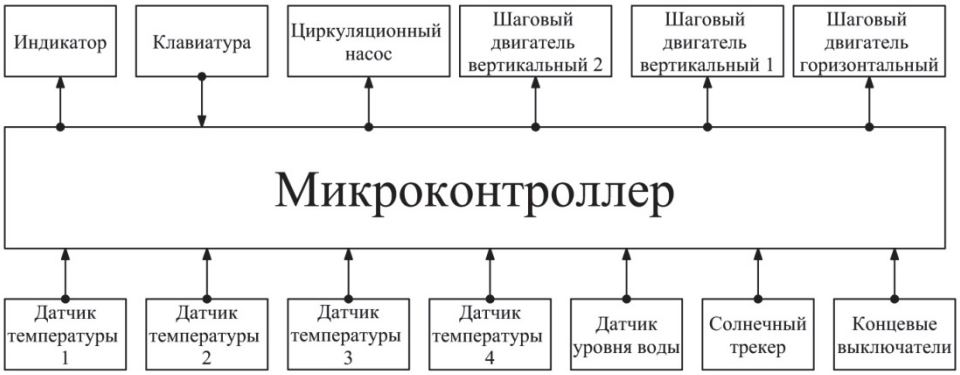


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления солнечным коллектором

Микроконтроллер выполняет сбор информации от датчиков и на основании полученных данных формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы системы. Микроконтроллер выполняет алгоритмы, которые автоматически регулируют работу коллектора, контролируя температуру, уровень теплоносителя и угол падения солнечных лучей. В разрабатываемой системе управления предусмотрены четыре датчика температуры: два датчика используются в контуре солнечного коллектора, два других в контуре теплообменника. Датчики температуры контура коллектора измеряют температуру теплоносителя на входе и выходе. При высокой температуре теплоносителя на выходе коллектора и минимальной разницей температур между входом и выходом, микроконтроллер формирует управляющий сигнал для циркуляционного насоса, увеличивая скорость прокачки теплоносителя во избежание перегрева коллектора. Датчики температуры контура теплообменника оценивают эффективность передачи тепла от коллектора к системе отопления

или водоснабжения. Для компенсации недостающей энергии в отопительной системе в период малой солнечной активности бак-аккумулятор теплообменника дополнительно оснащается термоэлектрическим нагревателем, который включается по сигналу контроллера в зависимости от заданных температурных параметров. Это позволяет оптимизировать процессы нагрева и предотвращает перегрев. Датчик уровня воды контролирует уровень теплоносителя в теплообменнике и системе отопления. Датчик солнца (солнечный трекер) отслеживает положение солнца на горизонте, что позволяет автоматически регулировать положение рабочей поверхности коллектора для формирования максимального угла падения солнечных лучей, увеличивая тем самым эффективность системы. Индикатор отображает данные о температуре коллектора и теплоносителя, угле наклона и горизонтального положения коллектора, состоянии работы системы и предупреждения о неисправностях. Клавиатура в системе управления солнечным коллектором позволяет задавать режимы работы, просматривать параметры, следить за состоянием системы и при необходимости управлять процессами в ручном режиме. При прочих равных условиях, основным достоинством разработанной системы управления является автоматическая регулировка положения коллектора на основе данных об угле падения солнечных лучей и температуре [5]. В идеальном варианте, в диапазоне изменения падения лучей –45 до + 45 градусов, при абсолютном перпендикуляре падения солнечных лучей в максимальной точке, мощность солнечного коллектора изменяется на 25 %.

Разработанная система управления солнечным коллектором направлена на достижение нескольких ключевых положительных эффектов. Во-первых, она значительно повышает эффективность использования солнечной энергии, что позволяет снизить затраты на отопление и горячее водоснабжение. Во-вторых, система оптимизирует работу оборудования, продлевая срок его службы и минимизируя риск возникновения неисправностей. В-третьих, использование такой системы способствует уменьшению негативного воздействия на окружающую среду, сокращая выбросы углекислого газа и другие вредные вещества.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Семенова, Н. Г. Сравнительный анализ существующих типов солнечных коллекторов / Н. Г. Семенова, А. А. Веремеев, Д. С. Зеленцов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 31 января – 02 2018 года / Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВО "Оренбургский государственный университет". – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2018. – С. 3002-3005. – EDN YTVLEJ.

2. Власов, И. С. Применение солнечных коллекторов в индивидуальных жилых домах / И. С. Власов, А. Е. Кондратьев // Наука и образование: новое время. – 2018. – № 6(29). – С. 134-136. – EDN YVQWCD.

3. Ковалевский, В. К. Система управления солнечным коллектором / В. К. Ковалевский // Современное развитие науки, технологий, бизнеса: сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых / Ассоциация технических университетов; Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). – Москва : Ассоциация технических университетов; МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 135-141. – EDN SMIMSK.

4. Гритчин, Р. Д. Особенности применения вакуумных солнечных коллекторов с тепловыми трубками как источника тепла для жилого дома / Р. Д. Гритчин // Молодой ученый. – 2016. – № 16(120). – С. 76-79. – EDN WINLTL.

5. Зеленцов, Д. С. Автоматизированная система управления солнечным воздушным коллектором / Д. С. Зеленцов // International scientific review of the problems and prospects of modern science and education : COLLECTION OF SCIENTIFIC ARTICLES. LIX INTERNATIONAL CORRESPONDENCE SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE, Boston, 23–24 июня 2019 года / EDITOR: EMMA MORGAN. – Boston: PROBLEMS OF SCIENCE, 2019. – С. 34-38. – EDN GNNBGL.

УДК 004.896
Грабарь Даниил Михайлович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Grabar Daniil Mikhailovich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University
Мельниченко Маркел Андреевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Melnichenko Markel Andreevich, Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer at the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk- na-Amure State University

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОЛЛАБОРАТИВНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

ENERGY-EFFICIENT CONTROL OF A COLLABORATIVE ROBOT BASED ON A DIGITAL TWIN

Аннотация. В работе представлен цифровой двойник коллаборативного робота KUKA LBR iiwa 7 R800, предназначенный для оптимизации управления и снижение энергопотребления. Результаты демонстрируют высокую степень соответствия цифрового двойника реальному роботу, с отклонением фактической позиции от заданной не более 0,15 мм. Синхронизация между виртуальной и физической системами позволила значительно ускорить процесс тестирования алгоритмов, а нейросетевая модель обеспечила снижение энергозатрат на 12% без ухудшения иных показателей качества технологического процесса.
Abstract. The paper presents a digital twin of the KUKA BR i iva 7 R800 collaborative robot, designed to optimize control and reduce energy consumption. The results demonstrate a high degree of correspondence of the digital twin to the real work, with a deviation of the actual position from the set one of no more than 0.15 mm. Synchronization between virtual and physical systems significantly accelerated the algorithm testing process, and the neural network model provided a 12% reduction in energy consumption without compromising other quality indicators of the technological process.
Ключевые слова: коллаборативный робот, цифровой двойник, энергоэффективность
Key words: collaborative robot, digital twin, energy efficiency

Коллаборативные роботы стали неотъемлемой частью современных производственных систем, за счёт высокой точности и универсальности в условиях актуальных требований к безопасности при взаимодействии с человеком. Несмотря на высокую эффективность коллаборативных роботов на производстве все чаще требуется расширение их функционала для решения задач прогнозирования поведения, минимизациюзатрат энергии и/или времени и обеспечение безошибочной интеграции в сложные технологические процессы. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью внедрения цифровых двойников на производство позволяющих оптимизировать настройку оборудования до его физического развертывания. Несмотря на активное развитие методов моделирования (например, в симуляционных средах Gazebo, Webots), ключевой проблемой остается расхождение между поведением виртуальной и реальной систем, особенно в задачах, требующих синхронизации с промышленными интерфейсами (например, KUKA FRI). Кроме того, вопросы энергоэффективности коботов часто остаются за рамками исследований, хотя они критически важны для снижения эксплуатационных затрат.

Анализ литературных источников демонстрирует, что существующие работы фокусируются преимущественно на отдельных аспектах: расширение функционала коллаборативных роботов за счёт создании цифровых двойников [1], интеграции ROS2 (Robotics Operation System) с промышленным оборудованием [2] или оптимизации траекторий посредством машинного обучения. Однако комплексный подход, объединяющий эти направления, проработан недостаточно. Например, в исследовании [3] показана возможность сни-

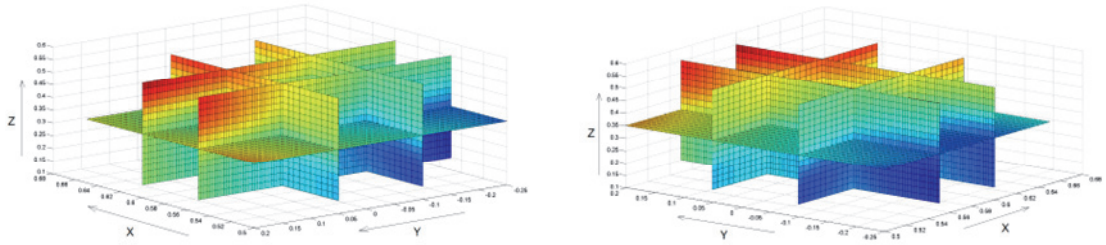
жения энергопотребления роботов на 8–10% за счет адаптивного управления, но без учета точности позиционирования. В свою очередь, работы по цифровым двойникам [4] часто ограничиваются кинематическим моделированием, игнорируя динамические параметры, такие как инерция манипуляционных механизмов.

Целью данной работы является разработка цифрового двойника коллаборативного робота KUKA LBR iiwa 7 R800, интегрированного в среду Webots и ROS2, для оптимизации алгоритмов управления с учетом критериев минимизации энергопотребления. Задачи исследования включают: (1) создание физически точной виртуальной модели, воспроизводящей динамику реального робота; (2) реализацию интерфейсов взаимодействия с промышленным оборудованием через интерфейс KUKA FRI. Новизна исследования заключается в комбинировании методов управления коллаборативным роботом и машинного обучения в задачах энергоэффективности.

Разработка цифрового двойника коллаборативного робота KUKA LBR iiwa 7 R800 осуществлялась в несколько этапов, начиная с создания виртуальной модели в среде Webots и заканчивая её интеграцией с реальным оборудованием с использованием ROS2. Модель робота была построена на основе параметров Денавита-Хартенберга, учитывающих геометрию звеньев, ограничения суставов и инерционные характеристики. Для каждого из семи суставов заданы пределы углов поворота, соответствующие спецификациям исследуемого робота, а также динамические параметры (масса, моменты инерции), что позволило приблизить поведение виртуального робота к реальному. Роботизированная тележка и груз (виртуальный куб) моделировались с упрощенной динамикой, но с сохранением ключевых физических свойств, таких как трение и упругость.

Формирование траекторий движения выполнялось с использованием библиотеки Robotics Toolbox для языка программирования Python. Алгоритм включал решение обратной задачи кинематики для определения угловых положений суставов в каждой точке траектории. Особое внимание уделялось плавности переходов: кубическая сплайн-интерполяция между контрольными точками (подъем, горизонтальное перемещение, спуск) позволила минимизировать рывки и вибрации, характерные для роботов с большим количеством степеней свободы. Сформированные траектории экспортировались в файл формата CSV с шагом 10 мс, что обеспечило совместимость с KUKA FRI — промышленным интерфейсом управления роботом.

Интеграция цифрового двойника с ROS2 стала ключевым этапом, обеспечивающим связь между виртуальной средой и реальным оборудованием. Управление виртуальным роботом осуществлялось через контроллер LBRController, преобразующий траектории в команды для приводов Webots. Для взаимодействия с физическим роботом разработан драйвер на базе KUKA Fast Robot Interface (FRI), обеспечивающий обмен данными с частотой 100 Гц. При этом ROS2-ноды реализовывали сервисы для передачи целевых траекторий (/cmd_positions), экстренной остановки (/stop_move) и движения по обратной траектории (/reverse_movement). Последний сервис использовал кубическую интерполяцию для перерасчета задач в реальном времени, что особенно важно при работе в изменяющихся условиях. Натурные эксперименты проводились на реальном роботе KUKA iiwa 7 R800 для валидации виртуальной модели. В рамках 200 циклов перемещения груза фиксировались энергопотребление, время выполнения операций и точность позиционирования. Собранные данные легли в основу обучающего набора, где входными параметрами выступали координаты X, Y, h характеризующие точку позиционирования груза в локальной системе координат и высоту его подъема при перемещении, а целевой переменной — нормированное значение энергопотребления. Обучение проводилось с использованием 80% данных, при этом валидация подтвердила высокую точность модели (R^2=0.88, MSE=1.457×10^{-5}), что в итоге, позволило выявить зоны максимального и минимального энергопотребления (рис. 1).



а) б)

Рисунок 1 – Карта затрат электроэнергии для коллаборативного робота:
а) зона с максимальными энергозатратами; б) зона с минимальными энергозатратами

Сравнительный анализ результатов моделирования и натурного эксперимента показал, что цифровой двойник адекватно отражает поведение реального робота (рисунок 2).

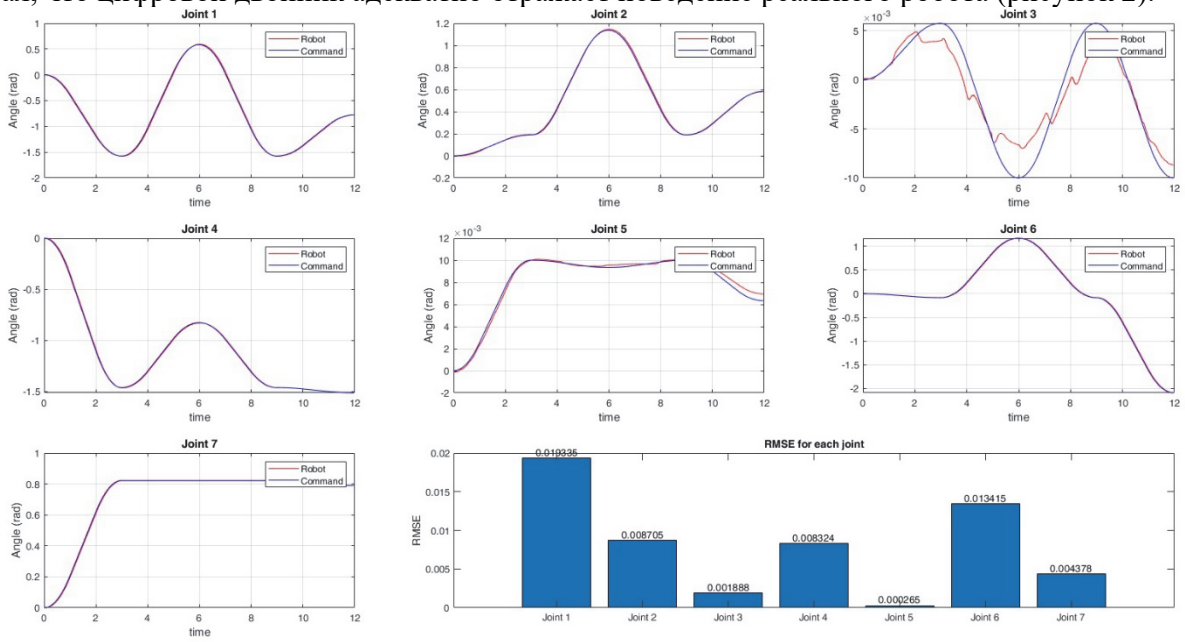


Рисунок 2 – Погрешность позиционирования суставов коллаборативного робота по каждой отдельной оси

Максимальное отклонение позиционирования составило $\Delta X_{max} = 0.15$ мм для сустава 3, а RMSE ошибок управления не превысила $\Delta = 0.0103$ для сустава 1. Синхронизация временных параметров между системами достигла уровня менее 0.5% расхождения по длительности циклов. В режиме максимального энергопотребления ($E_{max} = 0.535$ Вт) наблюдалась активная работа всех суставов с пиковыми ускорениями до 2.5 рад/с², тогда как в оптимальном режиме ($E_{min} = 0.474$ Вт) стабилизация четырех суставов снизила ускорения до 0.8 рад/с², что подтвердило гипотезу о связи кинематической сложности траекторий с энергетическими затратами.

Разработанная виртуальная модель в симуляционной среде Webots продемонстрировала высокую точность прогнозирования кинематических параметров: отклонения позиционирования между цифровым двойником и реальным роботом не превысили $\Delta X_{max} = 0.15$ мм, а максимальная RMSE для суставов составила $\Delta = 0.0103$. Интеграция с ROS2 и KUKA FRI обеспечила синхронизацию управления между виртуальной и физической системами, позволив сократить время тестирования алгоритмов на 40% за счет исключения риска повреждения оборудования. Нейросетевая модель, обученная на данных 200 экспериментальных циклов, продемонстрировала возможность снижения энергопотребления на 12% за счет выбора оптимальных траекторий. Анализ выявил зоны максимальных ($E_{max} = 0.535$Вт при X=0.63, Y=0.2, h=0.55) и минимальных ($E_{min} = 0.474$Вт при X=0.5, Y=-0.25, h=0.15) энергозатрат, что согласуется с динамической моделью системы. Важно отметить, что оптимизация не привела к снижению точности: максимальная погрешность при позиционировании сохранилась на уровне не менее 0.15 мм.

Полученные результаты имеют высокую практическую значимость для роботизированных сфер промышленности, где требуется баланс между точностью и энергоэффективностью. Внедрение предложенного подхода позволит сократить эксплуатационные затраты и повысить устойчивость производственных процессов. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются расширение модели для многороботных сценариев, интеграция датчиков компьютерного зрения для адаптации к динамическому окружению и разработка алгоритмов управления в реальном времени. Таким образом, работа вносит вклад в развитие интеллектуальных производственных систем, сочетающих точность цифровых двойников с адаптивностью методов машинного обучения.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-71-10093) [5].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горькавый М. А. Специфика архитектуры цифрового двойника коллаборативного роботизированного процесса на базе мультиагентных систем / М. А. Горькавый, А. И. Горькавый, В. А. Соловьев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 4. – С. 147-156. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-4-147-157. – EDN YTXPXW.

2. Munera, E., Poza-Lujan, JL., Posadas-Yagüe, JL., Simó-Ten, JE., Blanes, F. (2016). Smart Resource Integration on ROS-Based Systems: Highly Decoupled Resources for a Modular and Scalable Robot Development. In: Omatu, S., et al. Distributed Computing and Artificial Intelligence, 13th International Conference. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 474. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40162-1_36

3. Paryanto, Brossog, M., Bornschlegl, M. et al. Reducing the energy consumption of industrial robots in manufacturing systems. Int J Adv Manuf Technol 78, 1315–1328 (2015). https://doi.org/10.1007/s00170-014-6737-z

4. Kuts, V.; Marvel, J.A.; Aksu, M.; Pizzagalli, S.L.; Sarkans, M.; Bondarenko, Y.; Otto, T. Digital Twin as Industrial Robots Manipulation Validation Tool. Robotics 2022, 11, 113. https://doi.org/10.3390/robotics11050113

5. Разработка и синтез перспективных мультимодальных адаптивных алгоритмов и методов управления поведением коллаборативных робототехнических систем с учетом нештатных ситуаций и экстремальных условий в недетерминированной среде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rscf.ru/project/22-71-10093/

УДК 681.587.72

Грищенко Филипп Васильевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Grishchenko Philip Vasilievich, student, Komsomolsk-on-Amur State University
Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель Центра робототехники Ресурсного центра Технопарка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Savelyev Dmitriy Olegovich, senior lecturer, head of the Center for robotics of the Resource center of the Technopark of Komsomolsk-on-Amur State University

АНАЛИЗ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

ANALYSIS AND CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEMS FOR ELECTRIC DRIVES WITH INDUCTION MOTORS

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ систем управления асинхронными электроприводами поворотных столов металлообрабатывающих станков. Рассмотрены два основных метода управления: скалярное (частотное) и векторное. Произведён сравнительный анализ данных методов, в котором показано существенное преимущество векторного управления по точности позиционирования, быстродействию и энергоэффективности. Ис-

следованы современные тенденции развития систем управления, включая применение адаптивных алгоритмов, бездатчиковых технологий и интеграцию с концепцией Industry 4.0. На основании проведенного анализа определены перспективные направления совершенствования электроприводов для высокоточного оборудования.
Annotation. The paper presents a comprehensive analysis of control systems for asynchronous electric drives of rotary tables of metalworking machine tools. Two basic control methods are considered: scalar (frequency) and vector control. A comparative analysis of these methods is made, in which a significant advantage of vector control in terms of positioning accuracy, speed and energy efficiency is shown. Modern tendencies of control systems development, including application of adaptive algorithms, sensorless technologies and integration with Industry 4.0 concept are studied. On the basis of the analysis, the prospective directions of improvement of electric drives for high-precision equipment are determined.
Ключевые слова: асинхронный электропривод, векторное управление, скалярное управление, поворотный стол, металлообработка.
Key words: asynchronous electric drive, vector control, scalar control, rotary table, metal working.

Анализируя мировой опыт модернизации технологического оборудования, можно заметить довольно высокую динамику развития регулируемых электроприводов (РЭП). Наравне с развитием РЭП идёт развитие и компьютерных средств автоматизации с целью максимального повышения качества производительности технологического оборудования, а, следовательно, и качества самой продукции. Помимо традиционного применения РЭП совместно с технологическими устройствами выступают в виде средств регулирования технологических переменных, например, таких как: давление, уровень, температура производительности [1].

В связи с этим отметим несколько тенденций развития РЭП [1]: реализация систем управления следящим электроприводом на базе универсальных микропроцессорных устройств; разработка методов адаптивного управления; создание электроприводов прямого действия. К системам управления электроприводами современных металлообрабатывающих станков предъявляются высокие требования, особенно когда речь идет о механизмах поворотных столов. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором получили широкое распространение благодаря своей надежности, простоте конструкции и способности работать в тяжелых условиях эксплуатации. Однако управление такими двигателями сопряжено с рядом сложностей, обусловленных нелинейностью электромагнитных процессов и зависимостью параметров от нагрузки [2]. В связи с этим особую актуальность приобретает научный анализ методов управления, позволяющих обеспечить высокую точность позиционирования и динамические характеристики привода.

Поворотным столом называется устройство металлообрабатывающих станков, устанавливаемое на станке для изменения угла расположения детали. Они предназначены для расширения функциональных возможностей оборудования: обработка деталей, расположенных по окружности, вращение заготовки вокруг одной или нескольких осей. Поворотные столы нашли широкое применение на станках различного типа обработки, автоматических линиях, а также на отдельных установках [3]. К электроприводу механизма поворотного стола предъявляются достаточно высокие требования по точности позиционирования рабочего инструмента, поэтому систему управления электроприводом необходимо выбирать удовлетворяющую этим требованиям. От требований, предъявляемых к электроприводу будет зависеть выбор системы управления. В зависимости от этого существуют системы скалярного и векторного управления асинхронным электроприводом. Одним из наиболее распространенных методов управления асинхронными двигателями является скалярное регулирование, основанное на поддержании постоянного отношения напряжения к частоте. Этот подход относительно прост в реализации, но имеет существенные ограничения, связанные с низкой точностью в переходных режимах и зависимостью характеристик от нагрузки. Математически скалярное управление описывается соотношением, связывающим угловую скорость двигателя с частотой питающего напряжения и скольжением. Несмотря на свою простоту, данный метод не позволяет достичь высокой точности позицио-

нирования, что ограничивает его применение в системах с жесткими требованиями к динамике [2]. Более совершенным подходом является векторное управление, которое базируется на преобразовании координат и раздельном регулировании составляющих тока статора. Этот метод обеспечивает независимое управление моментом и потоком, что значительно улучшает динамические характеристики привода. Математическая модель векторного управления включает уравнения, описывающие взаимосвязь между компонентами потокосцепления, тока статора и электромагнитным моментом. Благодаря такой организации управления удается достичь высокой точности позиционирования, что особенно важно для поворотных столов металлообрабатывающих станков.

Структурные схемы систем управления могут существенно различаться в зависимости от выбранного метода. Например, система с обратной связью по скорости включает частотный преобразователь и контур регулирования, параметры которого определяют устойчивость и быстродействие привода. Векторное управление, в свою очередь, предполагает использование внутренних контуров тока и внешнего контура регулирования потокосцепления, а также наблюдателей состояния для оценки параметров ротора. Критически важными для таких систем являются постоянные времени контуров и коэффициенты усиления регуляторов, которые необходимо тщательно подбирать для обеспечения оптимальной работы. Сравнительный анализ скалярного и векторного управления демонстрирует явное преимущество последнего. Например, при использовании векторного управления точность позиционирования может достигать ±0.01°, в то время как для скалярного метода этот показатель обычно не превышает ±0.5°. Кроме того, векторное управление обеспечивает более быстрое время отклика и повышенный КПД при частичной нагрузке. Эти преимущества делают его предпочтительным выбором для высокоточных применений, таких как поворотные столы металлообрабатывающих станков [4].

Перспективные направления развития систем управления асинхронными приводами включают внедрение адаптивных алгоритмов, таких как методы скользящего режима, которые позволяют компенсировать параметрические возмущения. Также активно разрабатываются бездатчиковые системы, использующие расширенный фильтр Калмана для оценки скорости и положения ротора. Важным аспектом является интеграция систем управления с технологиями Industry 4.0, включая использование цифровых двойников для прогнозирования отказов и оптимизации работы оборудования.

В изложенном материале было представлено применение такого элемента как поворотный стол, предназначенный для металлообработки деталей различного типоразмера, а также рассмотрены способы управления электроприводом данного изделия. В заключение следует отметить, что векторное управление обеспечивает значительно более высокие показатели точности и быстродействия по сравнению со скалярным методом. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на оптимизацию алгоритмов управления с целью снижения вычислительной нагрузки и повышения энергоэффективности. Учитывая стремительное развитие современных технологий, можно ожидать появления новых методов и решений, которые еще больше расширят возможности систем управления асинхронными приводами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дерюжкова, Н. Е. Системы электропривода общего назначения: учебное пособие / Н. Е. Дерюжкова, В. Ф. Горячев. – Комсомольск-на-Амуре: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т», 2010. – 180 с.

2. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов ; под ред. В. М. Терехова. – 3-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 304 с.

3. МЕККА Инструмента : стол поворотный : сайт. – URL: https://mekkain.ru/library/stol-povorotnyij.html#anchor4 (дата обращения: 15.03.2025).

4. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Соколовский. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.

УДК 621.3.083
Давлетов Самат Маратович, студент, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
Davletov Samat Maratovich, student, KNRTU-KAI named after A.N. Tupolev

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ МОСТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

MICROPROCESSOR SYSTEM FOR HIGH ACCURACY BRIDGE MEASUREMENT

Аннотация. В данной работе рассмотрен пример построения микропроцессорной системы для создания автоматизированных измерений на основе мостовых измерений на постоянном токе. В работе представлено описание аппаратного и программного обеспечения системы на основе сигма-дельта аналого-цифрового преобразователя. Описанное решение является достаточно универсальным и может использоваться в широком классе современных измерительных системах для промышленности, медицины и бытовой техники.
Abstract. This paper considers an example of constructing a microprocessor system for creating automated measurements based on bridge measurements on direct current. The paper presents a description of the hardware and software of the system based on a sigma-delta analog-to-digital converter. The described solution is quite universal and can be used in a wide range of modern measuring systems for industry, medicine and household appliances.
Ключевые слова: резистивный мост, датчики, АЦП, микроконтроллер, система опроса датчиков
Keywords: resistive bridge, sensors, ADC, microcontroller, sensor polling system.

Измерительные системы на основе резистивных датчиков широко применяются в различных отраслях, включая научные исследования [1; 2], промышленность, медицину, сельское хозяйство и автомобильную промышленность. Такие системы обеспечивают высокую точность измерений и надежность работы. В данной работе рассмотрена архитектура системы опроса датчиков, включающая датчик, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер, преобразователь интерфейсов и внешнюю систему. Также представлен пример реализации с использованием современных компонентов, таких как сигма-дельта АЦП и микроконтроллер семейства STM32.

Датчики, использующие принцип резистивного моста, широко применяются в измерительных системах для преобразования физических величин (например, деформации, температуры, давления) в электрический сигнал. Рассмотрим несколько наиболее часто используемых датчиков. Тензодатчики (тензорезисторы) основаны на изменение сопротивления проводника или полупроводника под действием механической деформации и используются для измерения деформаций в конструкциях, веса, мониторинга напряжений в материалах. Сопротивление терморезисторов (термисторов) изменяется под действием температуры, что находит свое применение в промышленности, медицине, бытовой технике. Включение этих датчиков в мостовые схемы позволяет повысить точность измерений, обеспечить компенсацию погрешность, что приводит к повышению чувствительности при сохранении простоты и надежности схемы.

В мостовой схеме (рисунок 1) датчики (например, тензодатчики) включаются в одно или несколько плеч моста. При изменении измеряемой величины (например, деформации) изменяется сопротивление датчика, что приводит к разбалансу моста. Сигнал разбаланса усиливается и обрабатывается для получения результата измерения.

Резистивный мост – это электрическая схема, используемая для измерения неизвестного сопротивления путем сравнения его с известными сопротивлениями. Наиболее распространенный тип – мост Уитстона. Он состоит из четырех резисторов, источника пи-

тания и индикатора баланса (например, гальванометра). При балансе моста ток через индикатор равен нулю, и неизвестное сопротивление вычисляется по формуле:

$$Rx = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}, \quad (1)$$

где Rx — неизвестное сопротивление, R1 и R3 — известные сопротивления, R2 — переменное сопротивление.

Разрабатываемая микропроцессорная измерительная система (рисунок 2) включает в себя следующие основные элементы: 1. Датчик, преобразующий измеряемую величину в напряжение; 2. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 3. Микроконтроллер; 4. Преобразователь интерфейсов; 5. Внешняя система. При этом под внешней системой понимаем компьютер, сервер, SCADA-система, мобильное приложение и т.д., получающие данные от системы опроса датчика, обрабатывающие их, хранящие и отображающие пользователю.

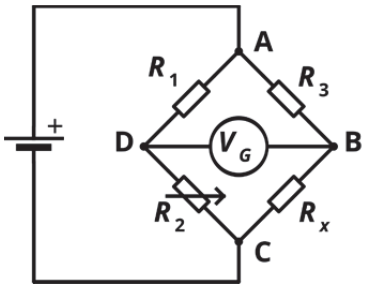


Рисунок 1 – Принципиальная схема резистивного моста

Схема, представленная на рисунке 2, описывает систему опроса датчика, измеряющего некоторую физическую величину. Датчик на выходе имеет напряжение пропорциональное измеряемой величине, которое измеряется (оцифровывается) с помощью АЦП. АЦП опрашивается, управляется и конфигурируется с помощью микроконтроллера, который хранит получаемые данные во внутреннем буфере. Данные из буфера с помощью преобразователя подключается к внешней системе для передачи накопленных данных по запросу, как самостоятельное устройство (измерение отдельно взятой величины), либо как часть большей системы контроля, подключаясь к устройству верхнего уровня.

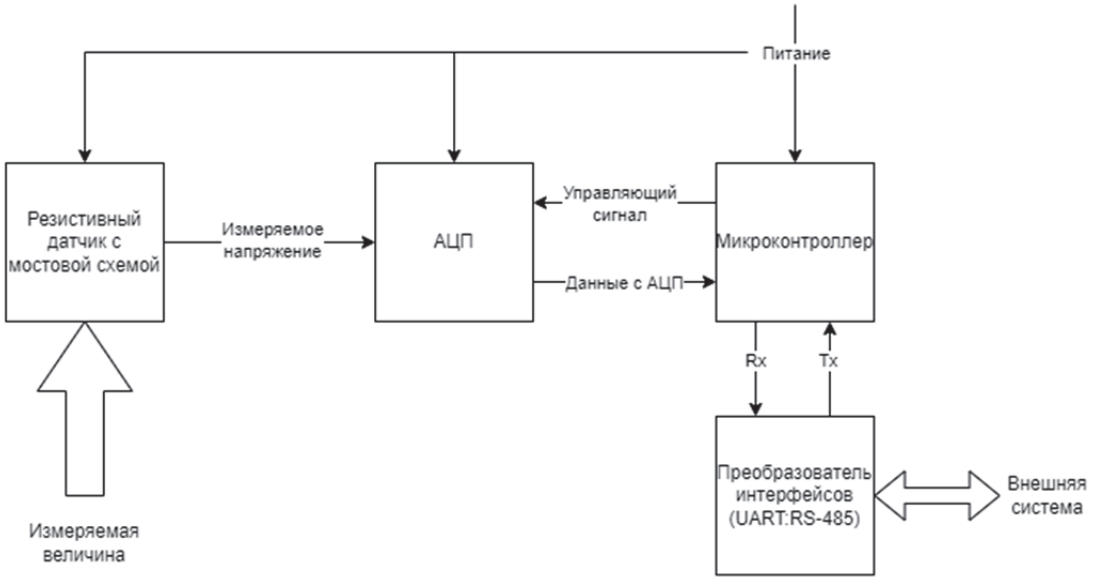


Рисунок 2 – Структурная схема микропроцессорной измерительной системы

В конкретной реализации подобного звена могут использоваться следующие устройства:

АЦП: Использование сигма-дельта АЦП модели ADS1232, имеющий разрешение в 24 бита, и эффективную разрядность около 22 бит при частоте 10 сэмплов в секунду, что позволяет измерять напряжение с датчика с большой точностью (около 8 микровольт при опорном напряжении в 3.3 вольта). Данный АЦП способен выдавать сигнал опрашиваю-

щему его микроконтроллеру о готовности данных, для того чтобы данные были всегда актуальны. Микроконтроллер: Использование 32-битного STM32F103C8T6, позволяет выполнять опроса АЦП с помощью аппаратно реализованных SPI и I2C, при переходе линии передачи данных у АЦП в низкий уровень (что сигнализирует о готовности данных) для ADS1232 можно начать считывание по одному из протоколов и получить от него 24 бита данных о измеряемой величине. Эти данные можно записать во внутренний буфер хранения для дальнейших расчетов или передачи выше.

Преобразователь интерфейсов: преобразование удобно осуществить, например с помощью микросхемы MAX485 способную на преобразование из UART, также аппаратно реализованного на F103C8T6, в RS-485 и обратно для общения контроллера с внешним миром. Данная конфигурация подразумевает использование какого-нибудь из протоколов для сообщения. Таким протоколом может выступать промышленный протокол Modbus. Для этого нужна реализация протокола внутри микроконтроллера.

Использование данного протокола одновременно предлагает некоторые решения для хранения данных. Например, буфером для хранения данных с АЦП может выступать Modbus InputBuffer который будет считываться внешне, а для конфигурации возможно использовать Modbus HoldingBuffer, для хранения, например настроек для считывания, коэффициентов расчетов и управления звеном системы. Примерная программа для микроконтроллера блок схемой на рисунке 3:

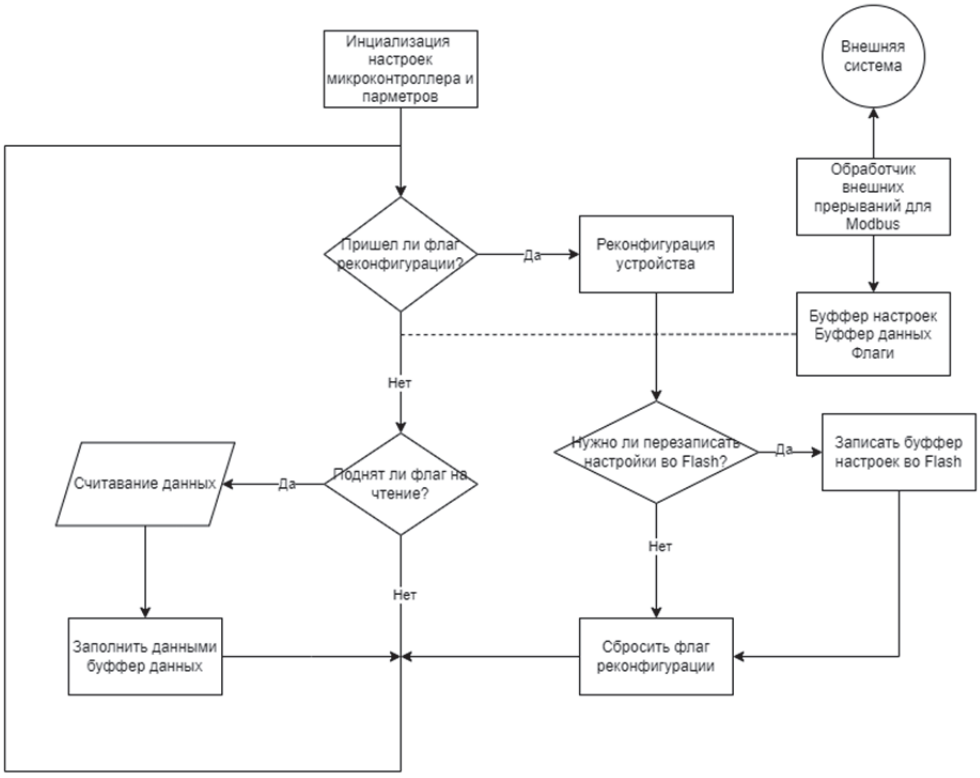


Рисунок 3 – Блок-схема программы микроконтроллера

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Денисов, Е. С. Квазираспределённый резистивный датчик с древовидной структурой / Е. С. Денисов, И. Д. Шафигуллин, Ю. К. Евдокимов // Автометрия. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 117-121.

2. Quasi-distributed resistive sensor for steady-state field measurements / E. Denisov, N. Adiutantov, Y. K. Evdokimov [et al.] // 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 - Proceedings, Moscow, 12–14 мая 2016 года. – Moscow, 2016. – P. 7491824.

3. Ван, С. Разработка технологии диагностики технического состояния внутритрубного защитного покрытия промысловых труб нефтяных месторождений / С. Ван // Вопросы

теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей : Материалы 49-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова, Екатеринбург, 23–27 января 2023 года. – Екатеринбург: Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, 2023. – С. 78-82.

4. Патент на полезную модель № 134414 U1 Российская Федерация, МПК A61B 5/01. устройство для термометрической диагностики клинического состояния пациента : № 2012157924/14 : заявл. 27.12.2012 : опубл. 20.11.2013 / Б. Т. Кубаев ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Нижегородский институт прикладных технологий"

УДК 681.5

Деркач Илья Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Derkach Ilya Yurievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сухоруков Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sukhorukov Sergei Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОБОТОМ ОСНАСТКИ С ДЕТАЛЬЮ

RESEARCH OF MATHEMATICAL DESCRIPTION OPTIONS FOR SOLVING THE PROBLEM OF TOOLING WITH A PART TRAJECTORY PLANNING BY A ROBOT

Аннотация. В работе рассматриваются различные методы математического описания пространства, применяемые при планировании траектории перемещения роботом оснастки с деталью. Анализируются способы моделирования рабочей среды, включая представление в декартовой системе координат с использованием воксельного разбиения, полигональных сеток и аналитического задания границ объектов. Кроме того, внимание уделяется пространству конфигураций манипулятора, позволяющему учитывать кинематические ограничения робота, а также топологическим методам, основанным на анализе связности и непрерывности среды.
Abstract. The study explores various mathematical representations of space applied to trajectory planning for a robot handling tooling with a workpiece. Different methods for modeling the working environment are analyzed, including representations in the Cartesian coordinate system using voxel-based partitioning, polygonal meshes, and analytical boundary definitions. Special attention is given to the configuration space, which accounts for the robot’s kinematic constraints, as well as to topological approaches based on connectivity and continuity analysis.
Ключевые слова: исследование, планирование траектории, манипулятор, декартовое пространство, пространство конфигураций, топологическое представление.
Key words: exploration, trajectory planning, manipulator, Cartesian space, configuration space, topological representation.

Автоматизация производственных процессов требует разработки эффективных методов планирования траекторий перемещения роботизированных систем. В частности, при манипулировании оснасткой с деталью необходимо учитывать не только кинематические ограничения манипулятора, но и геометрию рабочей среды, обеспечивая безопасное и оптимальное перемещение. Ошибки в планировании могут привести к столкновениям, увеличению времени выполнения операций или снижению точности обработки.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания математически обоснованных методов моделирования пространства, позволяющих повысить точность и вычислительную эффективность алгоритмов траекторного планирования. Методы представления среды, такие как декартовое описание, пространство конфигураций и топологи-

ческая абстракция, обладают различными преимуществами и ограничениями, что требует их комплексного анализа.

Целью данной работы является исследование различных способов математического описания пространства, применяемых для решения задачи планирования траектории перемещения роботом оснастки с деталью. Рассматриваются декартовое представление с использованием воксельного разбиения, полигональных сеток и аналитического задания границ объектов, пространство конфигураций, позволяющее учитывать кинематические ограничения робота, а также топологические методы, основанные на анализе связности и непрерывности среды. Выявляются преимущества и ограничения каждого подхода, а также возможные пути их интеграции для повышения эффективности траекторного планирования.

Описание пространства и его содержимого для решения задачи планирования траектории перемещения манипулятором оснастки с деталью требует комплексного подхода, где учитываются как геометрия рабочей среды, так и кинематические особенности робота. Работа является частью проекта по реализации роботизированного комплекса сборки, где необходимо построение траектории перемещения оснастки с учетом внешних препятствий. В рамках данной работы, были проанализированы литературные источники и выявлены способы описания объектов в окружающем пространстве.

В декартовой системе координат объекты окружающей среды описываются посредством их положения и ориентации в трёхмерном пространстве. Одним из вариантов является воксельное представление [1], при котором всё пространство разбивается на маленькие кубические элементы, каждый из которых определяется как занятый или свободный. Такой подход позволяет эффективно обнаруживать столкновения и строить оккупационные карты, что важно для алгоритмов планирования траектории. Другим способом представления являются полигональные сетки [2], где объекты описываются с помощью множества вершин, рёбер и граней, образующих поверхность объекта. Полигональные модели обычно используют треугольники или четырехугольники, что обеспечивает высокую точность при визуализации и моделировании сложных геометрических форм. Кроме того, границы объектов могут задаваться аналитическими уравнениями [3], например, уравнениями плоскости, сферы или цилиндра. Такой метод позволяет компактно описывать геометрию объектов и быстро вычислять расстояния до них с помощью стандартных математических инструментов, что особенно полезно для оптимизации траекторий.

Пространство конфигураций манипулятора [4] представляет собой множество всех возможных состояний робота, описываемых его обобщёнными координатами, например углами суставов. Каждая точка в нем соответствует конкретному положению манипулятора, а препятствия из рабочего пространства преобразуются в сложные многомерные области, где робот сталкивается с объектами. Такой подход позволяет учитывать не только положение, но и кинематические ограничения робота, что существенно повышает точность планирования траектории, особенно в условиях, когда оснастка влияет на допустимые движения. Топологическое представление [5] пространства основывается на изучении свойств связности, непрерывности и принадлежности, и может быть определено как на основе декартовой системы координат, так и на основе пространства конфигураций. При таком подходе геометрическая детализация уступает место анализу структуры среды в терминах связности, что позволяет выделить ключевые маршруты и определить, какие области доступны для безопасного движения робота. Топологическая абстракция особенно полезна при глобальном планировании пути, когда важно понимать, как препятствия разделяют пространство на отдельные компоненты и какие маршруты являются гомотопически эквивалентными. Каждый из описанных методов имеет свои преимущества в зависимости от конкретной задачи и требований к точности и вычислительной эффективности. Декартовое пространство позволяет точно моделировать положение объектов и препятствий с использованием вокселей, полигональных сеток или аналитических уравнений, что удобно для детального описания сложных сред. Пространство конфигураций учитывает кинематические особенности манипулятора, что позволяет строить траектории с учётом всех ограничений робота и избегать столкновений. Топологическое представление, в свою очередь, помогает упростить задачу глобального планирования, абстрагируясь от мелких деталей и сосредотачива-

ясь на основных путях и связях между ключевыми областями. С учетом расположения робота в пространстве, в пределах допустимых перемещений оснастки столкновения между звеньями робота возникать не будут, поэтому их учет не будет произведен. Так же ввиду того, что объекты в описываемом пространстве имеют заранее готовые трехмерные модели, целесообразно использовать метод описания объектов в виде полигональной сетки.

В ходе исследования рассмотрены различные варианты математического описания пространства, используемые для решения задачи планирования траектории перемещения роботом оснастки с деталью. Проведен анализ декартового представления, включающего воксельное разбиение, полигональные сетки и аналитическое задание границ объектов. Исследованы свойства пространства конфигураций, позволяющего учитывать кинематические ограничения манипулятора, а также топологического представления, основанного на анализе связности и непрерывности среды. Выявлено, что декартовое описание обеспечивает детализированное представление рабочей среды и эффективно применяется для обнаружения препятствий, однако обладает высокой вычислительной сложностью. Пространство конфигураций позволяет учитывать геометрию манипулятора и его ограничения, но его построение усложняется при увеличении числа степеней свободы. Топологические методы обеспечивают абстрагирование от геометрических деталей и позволяют оптимизировать поиск маршрутов, но требуют дополнительной информации о структуре среды.

В результате исследования был сделан вывод, что в дальнейшем, при построении роботизированного сборочного комплекса будет использован метод представления окружающей среды в декартовой системе координат, в которой объекты представлены в виде полигональной сетки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Xie R., Zlatanova S., Aleksandrov M., Lee J. (Brian). A voxel-based 3D indoor model to support 3D pedestrian evacuation simulations. Journal of Building Engineering, 2024, vol. 98, 111183. ISSN 2352-7102. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111183.

2. Zheng A., Liu T., Song Y., Wang X., Liu L., Qi L. Minimum dose path planning method for virtual nuclear facilities based on navigation mesh. Annals of Nuclear Energy, 2024, vol. 195, 110104. ISSN 0306-4549. https://doi.org/10.1016/j.anucene.2023.110104.

3. Bulut V. Path planning of mobile robots in dynamic environment based on analytic geometry and cubic Bézier curve with three shape parameters. Expert Systems with Applications, 2023, vol. 233, 120942. ISSN 0957-4174. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120942.

4. Wu X. J., Tang J., Li Q., Heng K. H. Development of a configuration space motion planner for robot in dynamic environment. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2009, vol. 25, issue 1, pp. 13-31. ISSN 0736-5845. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2007.04.004.

5. Li B., Liu H., Su W. Topology optimization techniques for mobile robot path planning. Applied Soft Computing, 2019, vol. 78, pp. 528-544. ISSN 1568-4946. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.02.044.

УДК 621.316.721

Дмитриенко Александр Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Dmitrienko Aleksandr Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Стельмащук Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Stelmashchuk Sergey Valerevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Electric drive and automation of production plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

ОЦЕНКА ТОКА В ЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

CURRENT ESTIMATION IN FREQUENCY ELECTRIC DRIVE WITH SCALAR CONTROL

Аннотация. Статья написана как продолжение работы по построению контура тока частотного электропривода со скалярным управлением, для того чтобы иметь возможность полноценно применить методику подчинённого регулирования, применяемую для электроприводов постоянного тока и частотного электропривода с векторным управлением.
Abstract. The article is written as a continuation of the work on the construction of the current loop of the frequency electric drive with scalar control, in order to be able to fully apply the methodology of subordinate control, used for DC electric drives and frequency electric drive with vector control.
Ключевые слова: имитационная модель, линеаризованная модель, контур тока, асинхронный двигатель, IR-компенсация
Key words: simulation model, linearized model, current loop, induction motor, IR compensation

В [1] показано, что можно оценить ток ротора по значению момента двигателя:

$$I_2^{/} = \frac{\omega_{0н}}{3U_{1н}} M, \quad (1)$$

где $I_2^{/}$ – приведённый ток ротора двигателя; M – электромагнитный момент двигателя; $U_{1н}$ – номинальное фазное напряжение статора; $\omega_{0н}$ – номинальная синхронная скорость двигателя.

Зависимость (1) получена при следующих допущениях: пренебрежение значением сопротивления статора, переходные процессы в приводе выполняются при малых отклонениях частоты статора и момента нагрузки в рабочей области механической характеристики. Это позволяет реализовать контур тока для частотного электропривода со скалярным управлением. Что, в свою очередь, делает возможным реализовать двухконтурную систему подчиненного регулирования на базе рассматриваемого электропривода [2; 3], а также повышение информативности показаний в каких-либо научно-исследовательских работах [4].

В статье проведено имитационное моделирование для сравнительного анализа линеаризованной модели частотного электропривода и имитационной модели собранной с использованием блоков пакета SimPowerSystems среды MatLab. Для проверки зависимости (1) проведено моделирование для ряда крановo-металлургических асинхронных электродвигателей серии МТ различной мощности.

Для сравнения используются графики скорости, момента двигателя и действующего значения тока статора I_1. В частотном электроприводе со скалярным управлением ток статора отличается от приведённого тока ротора на значение тока холостого хода I_0. Поэтому на линеаризованной модели привода ток статора можно косвенно оценить по формуле

$$I_1 = \frac{\omega_{0н}}{3U_{1н}} M + I_0. \quad (2)$$

Ток холостого хода в первом приближении можно определить как разность номинальных значений тока статора и приведённого тока ротора:

$$I_0 = I_{1н} - I_{2н}^{/}.$$

Моделирование в среде MatLab представлено на рисунке 1.

Результаты моделирования для асинхронного двигателя мощностью 30 кВт МТВ412-6 представлены на рисунке 2.

В имитационной модели блок «Frequency Converter» моделирует изменение частоты и напряжения статора. Модель на рисунке 1 определяет синхронную частоту w0 и напряжение статора U1 так чтобы обеспечивалось выполнение закона частотного регулирования при постоянной нагрузке. С помощью датчика тока и преобразователя мгновенного значения в действующее «RMS» реализуется IR-компенсация и измерение тока статора. Оценка тока статора и ротора осуществляется в соответствии с зависимостями (1) и (2). На рисунке

2 представлена реакция двух моделей на приращение синхронной частоты в момент времени 2 сек, а также реакция на приращение момента нагрузки в момент времени 2.3 сек.

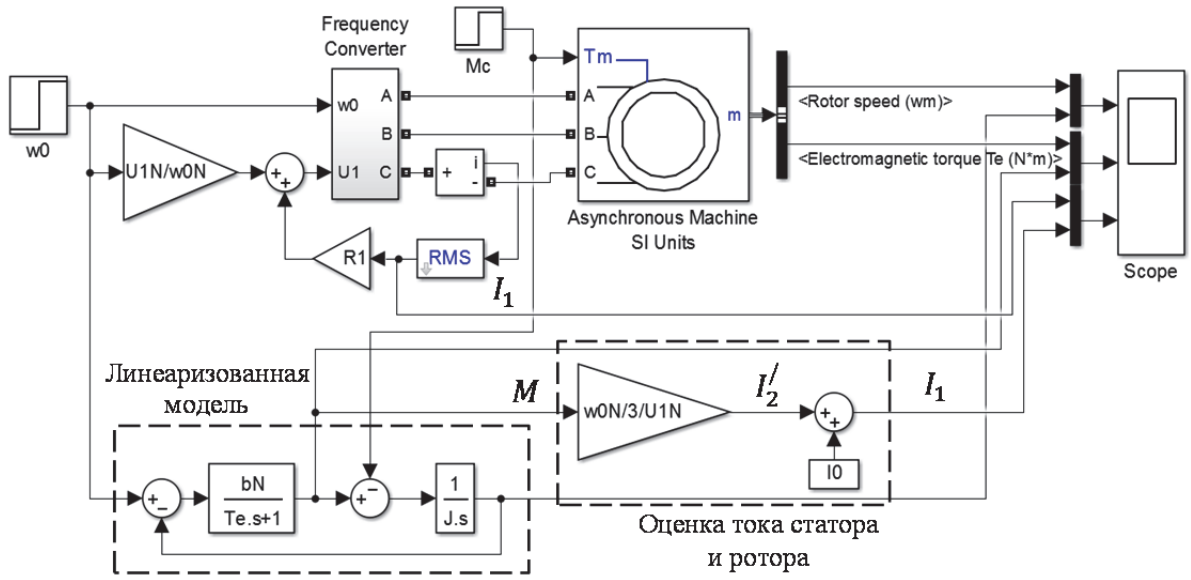


Рисунок 1 – Моделирование в среде MatLab

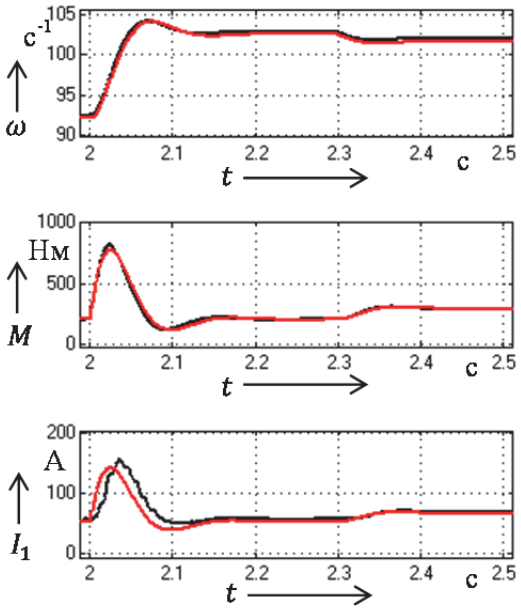


Рисунок 2 – Графики результатов моделирования имитационной (черные) и линеаризованной (красные) модели частотного электропривода

Экспериментальное моделирование проводилось для двигателей мощностью в диапазоне от 2 до 125 кВт, как для фазных, так и для короткозамкнутых двигателей. По результатам моделирования можно сделать выводы, что при малых приращениях управляющего и возмущающего воздействий, линеаризованная модель вполне адекватно моделирует процессы в имитационной модели частотного электропривода со скалярным управлением.

Зависимости (1) и (2) вполне адекватно описывают зависимость между токами двигателя и электромагнитным моментом. Примечательно, что коэффициент между током и моментом в (1) не зависит от параметров двигателя (сопротивлений и индуктивностей статора, ротора и намагничивания). Коэффициент в каком-то смысле универсален для двигателей с одним и тем же числом полюсов и фазным напряжением. Тем не менее, при моделировании переходных процессов в малых отклонениях для частотного управления с IR-компенсацией, отношение момента и тока всех исследуемых двигателей имеет одно и то же постоянное значение.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лебедь, А. А. Обратная связь по току ротора в системе ЧП-ад со скалярным управлением / А. А. Лебедь, С. В. Стельмащук // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 230-233. – EDN WHSHJR.

2. Автомонов, С. А. Системы автоматического регулирования с компенсацией интегрального насыщения / С. А. Автомонов, С. В. Стельмащук // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года / Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 4-6. – EDN VGFEXH.

3. Аминов, К. С. Проблема внутренней обратной связи в типовой настройке частотного асинхронного электропривода со скалярным управлением / К. С. Аминов, С. В. Стельмащук // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 3 ч., Комсомольск-на-Амуре, 06–10 апреля 2020 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – С. 176-178. – EDN LZZCGS.

4. Информационно-измерительная электромеханическая система / П. О. Саяпина, М. А. Ефремов, Р. Ф. Крупский, Х. Х. Азимов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 1(65). – С. 94-101. – DOI 10.17084/20764359-2023-65-94. – EDN THOWAO.

УДК 681.5

Едич Максим Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Edich Maksim Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Горькавый Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Gorkavyy Alexander Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ МОДУЛЯМИ С ПОДСИСТЕМАМИ САМОНАСТРОЙКИ И ИНВАРИАНТНОСТИ

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR MECHATRONIC MODULES WITH SELF-TUNING AND INVARIANCE SUBSYSTEMS

Аннотация. В статье исследуются методы повышения точности и устойчивости управления трехзвенными промышленными манипуляторами, учитывающие переменность момента инерции и взаимовлияние звеньев. Предложен подход к модификации модального регулятора путем добавления подсистем самонастройки и инвариантности. Рассмотрены два варианта подсистем инвариантности: пропорциональный и форсированный, с анализом их эффективности через передаточные функции и переходные процессы. Показано, что введение форсированной подсистемы обеспечивает полную декомпозицию системы, значительно улучшая динамику. Результаты демонстрируют возможность практической реализации предложенных решений благодаря использованию классических расчетов переменных состояния. Перспективы работы связаны с адаптацией методов для многозвенных манипуляторов.

Abstract. The article studies methods for increasing the accuracy and stability of control of three-link industrial manipulators, taking into account the variability of the moment of inertia and the mutual influence of the links. An approach to modifying a modal controller by adding self-tuning and invariance subsystems is proposed. Two versions of invariance subsystems are considered:

proportional and forced, with an analysis of their effectiveness through transfer functions and transient processes. It is shown that the introduction of a forced subsystem provides a complete decomposition of the system, significantly improving the dynamics. The results demonstrate the possibility of practical implementation of the proposed solutions due to the use of classical calculations of state variables. Prospects for the work are associated with the adaptation of methods for multi-link manipulators.
Ключевые слова: промышленные роботы, трехзвенный манипулятор, модальное управление, адаптация, самонастройка, компенсация взаимовлияний
Key words: industrial robots, three-link manipulator, modal control, adaptation, self-tuning, compensation of mutual influences

В современных промышленных роботах и автоматизированных системах точное позиционирование и стабилизация рабочих органов являются ключевыми требованиями, определяющими эффективность выполнения технологических операций. Движение рабочего органа промышленного робота (ПР) обеспечивается мехатронными модулями звеньев, которые в совокупности формируют сложную многомерную и взаимосвязанную центробежными и кориолисовыми силами систему управления с изменяющимися коэффициентами инерции механизма. Управление такими системами осложняется рядом факторов, среди которых наиболее значимыми являются изменение момента инерции в процессе движения и наличие сил взаимовлияний и кориолисовых сил между звеньями. Эти факторы приводят к снижению не только статичной, но и динамической точности, увеличению колебаний и ухудшению качества переходных процессов. Целью работы является формирование и расчет системы управления мехатронных модулей трехзвенного ПР так, чтобы обеспечивалась его эффективное функционирование в соответствии с программой движения в условиях изменения параметров и взаимодействия всех трех мехатронных модулей.

Математическая модель мехатронного модуля трехзвенного манипулятора при описании в пространстве состояний может быть представлена следующими матрицами (1), описывающие электромеханический привод с редуктором.

$$A=\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & \frac{C\cdot i}{J\cdot i^2+J_{\text{мех}}}\\ 0 & -\frac{C\cdot i}{L} & -\frac{R}{L}\end{bmatrix};\ B_u=\begin{bmatrix}0\\0\\\frac{K_{\text{п}}}{L}\end{bmatrix};\ B_m=\begin{bmatrix}0\\\frac{1}{J\cdot i^2+J_{\text{мех}}}\\0\end{bmatrix};\ C=[1\quad 0\quad 0]. \tag{1}$$

где i – передаточное число редуктора, J – момент инерции привода, приведенный к механизму, Jмех – момент инерции механизма, C – конструктивный коэффициент двигателя, Kп – коэффициент усиления, R и L активное и индуктивное сопротивление якоря двигателя. Так как инерция механизма изменяется в процессе динамики [2,4], то и коэффициенты модального регулятора [1] рассчитываются с учетом изменения момента инерции

$$f_1(\varphi)=\frac{\left(J\cdot i^2+J_{\text{мех}}(\varphi)\right)\cdot L\cdot {w_0}^3}{K_{\text{п}}\cdot C\cdot i};$$
$$f_2(\varphi)=\frac{3\cdot\left(J\cdot i^2+J_{\text{мех}}(\varphi)\right)\cdot L\cdot {w_0}^2-C^2\cdot i^2}{K_{\text{п}}\cdot C\cdot i}; \tag{2}$$
$$f_3=\frac{3\cdot L\cdot w_0-R}{K_{\text{п}}\cdot C}.$$

Система модального управления мехатронным модулем с коэффициентами, рассчитанными по формулам (2) приобретает адаптивные свойства и относится к разряду самонастраивающихся. Влияние изменения момента инерции на вид переходного процесса устранено предложенной подсистемой самонастройки (ПС). Для устранения сил взаимовлияния в систему вводится компенсационный канал по возмущению [3] в соответствии с расчетами, изложенными в работе [4]. Для этого коэффициент передачи системы с модальным регулятором по возмущаемому воздействию при наличии компенсационного канала Км необходимо приравнять к нулю. Из этого равенства определяется Км.

$$\frac{\varphi}{M_c}=\frac{L\cdot \text{K}_{\text{м}}\cdot \text{K}_{\text{п}}\cdot C\cdot i+\text{K}_{\text{п}}\cdot f_3+R}{L\cdot(\text{J}_{\text{мех}}+J\cdot \text{i}^2)\cdot(\text{p}+\text{w}_0)^3}=0\ \xrightarrow{p=0}\ \text{K}_{\text{м}}=-\frac{3\cdot L\cdot w_0}{K_{\text{п}}\cdot C\cdot i} \tag{3}$$

При введении компенсационного канала система становится частично инвариантной по возмущающим воздействиям. На рисунке 1 представлена подсистема инвариантности (ПИ), в которой реально действующие возмущения взаимовлияний – блок В компенсируются расчетными – блок А через коэффициент компенсационного канала.

Но данный вариант с пропорциональной компенсацией обеспечивает частичное подавление возмущений, из-за влияния инерционности электрической части двигателя. Наиболее эффективным решением является компенсационный канал с форсировкой (производной от возмущения). Для этого вновь производится расчет коэффициента компенсационного канала

$$\frac{\varphi(p)}{M_c(p)} = \frac{L\cdot \mathrm{K_м}\cdot \mathrm{K_п}\cdot C\cdot i + \mathrm{K_п}\cdot f_З + R}{L\cdot(\mathrm{J_{мех}} + J\cdot \mathrm{i}^2)\cdot(\mathrm{p}+\mathrm{w_0})^3} = 0 \rightarrow \mathrm{K_{м2}} = -\left(\frac{3\cdot L\cdot w_0}{K_п\cdot C\cdot i} + \frac{L\cdot p}{K_п\cdot C\cdot i}\right). \quad (3)$$

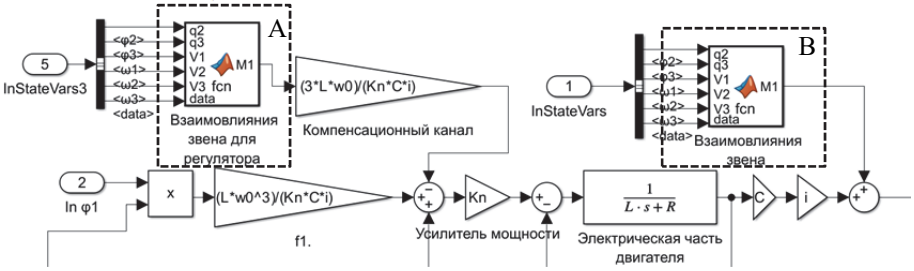


Рисунок 1 – Подсистема инвариантности

На рисунке 2 представлена структурная блок схема системы управления мехатронным модулем с подсистемами самонастройки и инвариантности.

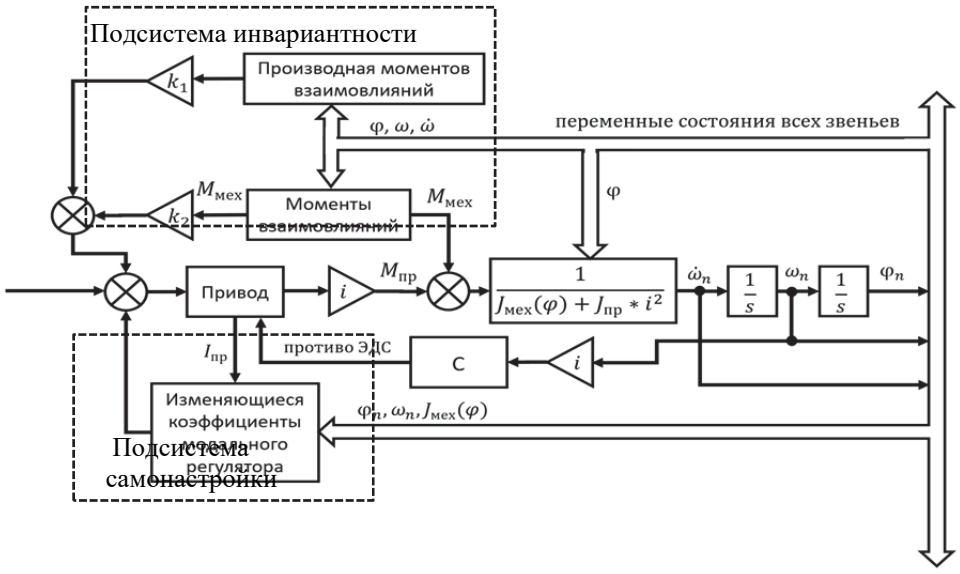
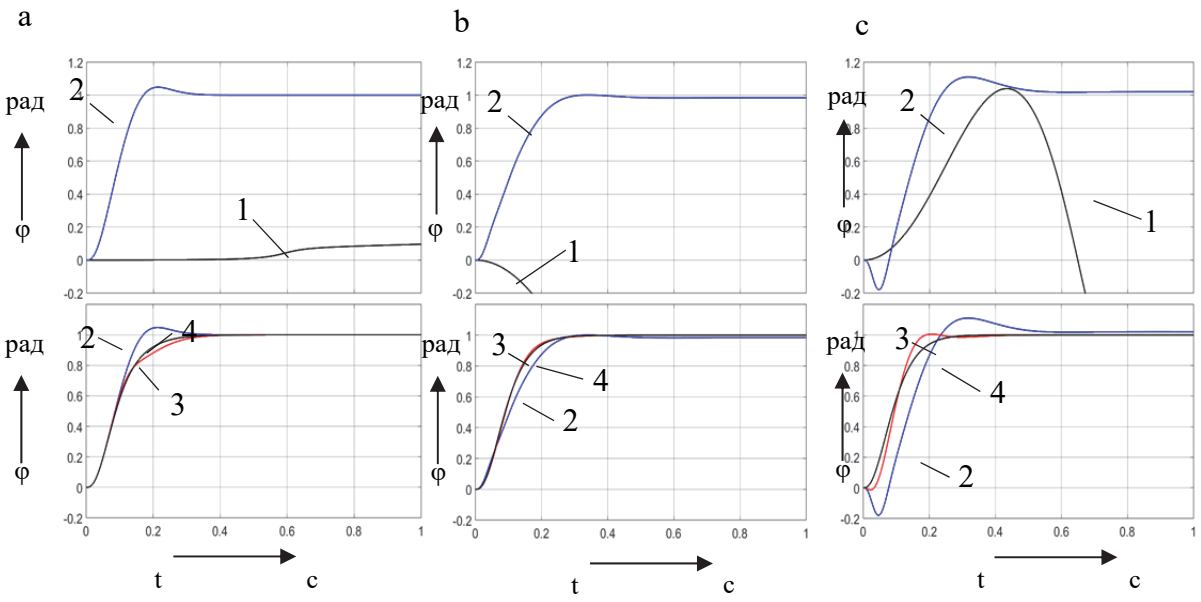


Рисунок 2 – Структурная блок схема системы управления мехатронным модулем

На рисунке 3 представлены графики переходных процессов в системе управления мехатронными модулями для трех случаев: 1 – система функционирует без ПС и ПИ; 2 – система функционирует с ПС; 3 – система функционирует с ПС и ПИ 4 – система функционирует с ПС и модифицированным ПИ.

Как видно из графиков переходного процесса эффективность функционирования систем управления мехатронными модулями значительно улучшилось при введении подсистем самонастройки и инвариантности.



a – переходные процессы для первого звена; b – переходные процессы для второго звена; c – переходные процессы для третьего звена;

Рисунок 3 – Графики переходных процессов в системе управления мехатронными модулями трехзвенного манипулятора при различных вариантах компенсации

Предложенные методы модификации коэффициентах модального регулятора и компенсации сил взаимовлияния позволяют значительно повысить точность и устойчивость управления трехзвенными манипуляторами. Учет изменения момента инерции и введение форсированного компенсационного канала обеспечивают полную декомпозицию системы, что подтверждается улучшенными динамическими характеристиками. Предложенные варианты построения системы управления мехатронными модулями могут быть распространены на разработку систем управления многозвенными манипуляторами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Теория автоматического управления. Линейные системы / И. В. Мирошник – Санкт-Петербург: Питер. 2005. – 336 с. – ISBN 5-469-00350-7.

2. Моделирование и управление движением роботов / Захаров Д.Н., Куровский Д.М., Ракшин Е.А., Борисов О.И., Громов В.С., Колюбин С.А Учебно-методическое пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2023. — 84 с.

3. Ягодкина Т.В. Синтез инвариантной системы адаптивного модального управления на базе следящей системы / Ву Ань Хиен, Ягодкина Т.В // Научный журнал «Фундаментальные исследования», Выпуск журнала №6 (часть 1) за 2016 год – Москва: Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», 2016. – С. 52-57. – ISSN 1812-7339.

4. Едич, М. А. Формирование структуры манипулятора для расчета взаимосвязанной системы электропривода промышленного робота / М. А. Едич, А.И. Горькавый // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 8–12 апреля 2024 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 169-172. – ISBN 978-5-7765-1582-8.

УДК 01.895

Житников Александр Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zhitnikov Alexander Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Зайченко Илья Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zaychenko Ilya Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ВНЕДРЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОКЛЮДЕРОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

THE INTRODUCTION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF OCLUDERS FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

Аннотация. На сегодняшний день по данным Всемирной организации здравоохранения, число людей с проблемами косоглазия и амблиопии постоянно растет. Существующие технологии не учитывают индивидуальные потребности пользователей при создании оклюдеров. Это создает необходимость в разработке доступных и эффективных решений для улучшения качества их жизни. Данная статья посвящена внедрению аддитивных технологий в процесс изготовления оклюдеров для людей с ОВЗ. Одним из преимуществ данной технологии является индивидуализация изделий, т.е., аддитивные технологии позволяют создавать уникальные продукты, адаптированные под конкретные анатомические и функциональные потребности пользователей. Также можно выделить сокращение времени разработок, снижение затрат.

Abstract. Today, according to the World Health Organization, the number of children with strabismus and amblyopia problems is constantly growing. Existing technologies do not take into account the individual needs of users when creating ocluders. This creates the need to develop affordable and effective solutions to improve their quality of life. This article is devoted to the introduction of additive technologies in the process of producing ocluders for children with disabilities. One of the advantages of this technology is the individualization of products, i.e., additive technologies allow you to create unique products adapted to the specific anatomical and functional needs of users. It is also possible to highlight a reduction in the time of work, cost reduction.

Ключевые слова: Аддитивные технологии, индивидуализация, оклюдер.

Key words: Additive technologies, individualization, occluders.

В последнее время во многих сферах жизни общества активно применяются современные 3D-технологии.. Сегодня уникальные методы современной печати активно применяются в медицине и список объектов, которые уже вполне успешно создаются с помощью технологии трёхмерной печати демонстрирует огромный потенциал, который 3D-печать может привнести в современное здравоохранение [4]. Традиционные методы производства оклюдеров зачастую не учитывают индивидуальные анатомические особенности пациента, что может привести к недостаточной эффективности и повышенным рискам послеоперационных осложнений. Внедрение аддитивных технологий позволяет создавать изделия, идеально соответствующие конкретным требованиям и особенностям каждого пациента. В современном мире технологии играют важную роль в формировании образовательного процесса, особенно в области науки. Инновации, такие как интернет, мобильные приложения, виртуальная реальность и искусственный интеллект, значительно изменили подходы к обучению и исследованию [1]. Благодаря изобретению и последующему применению технологии многослойного моделирования наука совершила невообразимый скачок вперед. 3D-принтеры привели к большому прорыву в медицине, а технологии многослойного 3D формования помогли вернуть к привычной жизни многих людей с нарушениями функционирования [2].

Внедрение аддитивных технологий в процесс изготовления оклюдеров для людей с проблемами косоглазия и амблиопии представляет собой шаг в области медицинской технологии, который обоснован с точки зрения научной целесообразности и с практической необходимости. Аддитивные технологии, или 3D-печать, обладают преимуществами, которые могут улучшить процесс производства оклюдеров, обеспечивая индивидуальный подход к каждому пациенту.

Первоначально следует отметить, что традиционные методы изготовления оклюдеров часто ограничены стандартными размерами и формами, что может не учитывать анатомические особенности конкретного человека. Использование аддитивных технологий позволяет создавать изделия, полностью соответствующие индивидуальным параметрам пациента [4]. Это достигается благодаря использованию программного обеспечения «AutoCAD» для проектирования изделия. Иногда создается физический прототип для проверки размеров и функциональности модели оклюдера (рисунок 1).

Кроме того, аддитивные технологии позволяют значительно сократить время от разработки концепции до выхода готового продукта на рынок. Быстрая адаптация и возможность тестирования прототипов в клинических условиях обеспечивают более оперативное реагирование на потребности рынка и запросы медицинского сообщества [5]. Это особенно важно в контексте динамично развивающейся области детской офтальмологии, где требования к медицинским изделиям постоянно эволюционируют.

В процессе производства медицинских расходных материалов использовалось современное технологическое оборудование, которое значительно улучшило эффективность и качество производства. Благодаря инновационным технологиям удалось автоматизировать процессы и повысить точность изготовления продукции. Это позволило сократить время производства и улучшить конечный результат. Использование современного оборудования является неотъемлемой частью успешного производства медицинских расходных материалов [3].

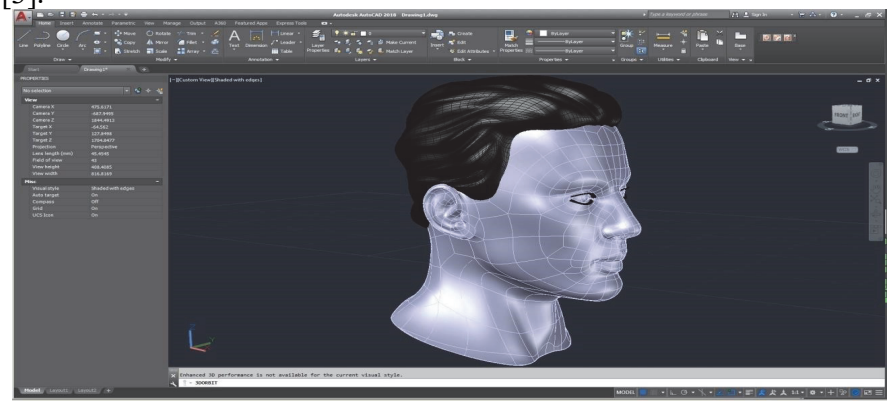


Рисунок 1 – Использование программного обеспечения «AutoCAD» для проектирования физического прототипа

Наконец, внедрение аддитивных технологий в процесс изготовления оклюдеров соответствует современным трендам в области персонализированной медицины. Индивидуализированный подход к лечению заболеваний, таких как косоглазие и амблиопия, становится все более актуальным.

Аддитивные технологии, включая 3D-печать и другие методы, играют важную роль в улучшении качества жизни людей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ). Эти технологии позволяют создавать индивидуализированные решения, соответствующие уникальным потребностям каждого человека. Благодаря быстроте и доступности производства, аддитивные технологии позволяют сократить время ожидания необходимых изделий, что особенно важно для людей с ОВЗ, нуждающихся в оперативной помощи. Использование аддитивных технологий открывает новые горизонты для творчества и самовыражения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьев А. И., Куликов, А. В. (2018). Аддитивные технологии: основы и применение. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана.

2. Кузнецов, А. В., Сидоров, В. Н. (2020). "Применение аддитивных технологий в медицине." Вестник науки и образования, 3(12), 45-50.

3. Петрова, И. С., Иванов, Д. А. (2019). "3D-печать в производстве медицинских изделий." Медицинская техника, 1(2), 34-39.

4. Калагова, А. В. (2019). Применение современных технологий 3D-печати в медицине: Молодой ученый №2(240) – С.54-56.
5. Левин, А. М., Сидорова, Н. В. (2020). *3D-печать в медицине: технологии и применение. Москва : Медицина.

УДК 62-83
Захаров Захар Владимирович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет.
Zakharov Zakhar Vladimirovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University.
Стельмащук Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Stelmashchuk Sergey Valerevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕНТИЛЬНОГО НЕЯВНОПОЛЮСНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

MECHANICAL CHARACTERISTIC OF NON-SALIENT VALVE MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS

Аннотация. Одним из главных достоинств вентильного электродвигателя является отсутствие коллекторного узла, что повышает ресурс и надёжность двигателя. В данной статье рассмотрен расчёт механической характеристики вентильного синхронного электродвигателя. Рассмотрен один из наиболее эффективных способов расчёта механической характеристики.
One of the main advantages of a valve electric motor is the absence of a collector unit, which increases the life and reliability of the engine. In this article, the calculation of the mechanical characteristics of a valve synchronous electric motor is considered. One of the most effective ways of calculating the mechanical characteristic is considered.
Ключевые слова: вентильный электродвигатель, механическая характеристика, расчёт механической характеристики, динамика вентильного электродвигателя, электромагнитная постоянная.
Key words: valve electric motor, mechanical characteristics, calculation of mechanical characteristics, dynamics of valve electric motor, electromagnetic constant.

Вентильный двигатель представляет собой синхронный двигатель с частотным управлением, но частота выходного напряжения инвертора определяется частотой вращения ротора с помощью датчика положения ротора двигателя. В этом случае синхронный двигатель напоминает двигатель постоянного тока (на входе инвертора постоянное напряжение), но обмотка возбуждения находится не на неподвижной части, а на вращающейся части двигателя. Якорь неподвижный, а вращается индуктор. Это позволяет не использовать коллекторный узел, что является одним из преимуществ вентильного двигателя. Другими достоинствами вентильного двигателя перед коллекторным двигателем постоянного тока являются улучшенные динамические, габаритные и стоимостные показателя. В этом случае актуальным вопросом является изучение способов управления и принципов торможения вентильного двигателя. Данный вопрос решается с помощью механической характеристики вентильного двигателя, которая может быть выведена на основе математического описания синхронной машины с постоянными магнитами [1]. Математическое описание вентильного двигателя при нулевом угле смещения коммутации ключей инвертора [1]:

$$I_d R - L I_q \omega = 0; \quad (1)$$

$$I_q R + (L I_d \psi_B)\omega = U_m; \quad (2)$$

$$M = p_п \psi_B I_q, \quad (3)$$

где R – активное сопротивление фазы статора; L – индуктивность фазы статора; U_m – амплитудное значение напряжения одной фазы в эквивалентном двухфазном представлении двигателя; i_d – ток по продольной оси; ψ_B – потокосцепление постоянного магнита ротора; M – электромагнитный момент; $p_п$ – число пар полюсов двигателя [2].

Выразим из (1) и (2) токи I_q и I_d:

$$I_q = \frac{U_m - \psi_B \omega}{R(1+T^2\omega^2)}; \quad (4)$$

$$I_d = \frac{T\omega(U_m - \psi_B \omega)}{R(1+T^2\omega^2)}; \quad (5)$$

где $T = \frac{L}{R}$ – электромагнитная постоянная времени.

Используя (4) и (5), получим выражение для тока статора:

$$I_1 = \sqrt{I_d{}^2 + I_q{}^2} = \frac{U_m - \psi_B \omega}{R\sqrt{1+T^2\omega^2}}, \quad (6)$$

Из выражения (6), по номинальным данным можно получить потокосцепление по поперечной оси:

$$\psi_B = \frac{U_{mн} - I_{1н} R\sqrt{1+T^2\omega_н^2}}{\omega_н}, \quad (7)$$

где $U_{mн} = \frac{\pi}{3\sqrt{3}} U_{dн}$; $U_{dн}$ – номинальное напряжение постоянного тока.

Представим выражение (6) в виде:

$$I_1 = \frac{\psi_B}{R} \frac{\omega_0 - \omega}{\sqrt{1+T^2\omega^2}}, \quad (8)$$

где $\omega_0 = \frac{U_m}{\psi_B}$ – скорость идеального холостого хода.

Выражение (8) представляет собой электромеханическую характеристику вентильного двигателя. Подставляя выражение (4) в (3), получим уравнение механической характеристики вентильного двигателя [3]:

$$M = \beta \frac{\omega_0 - \omega}{1+T^2\omega^2}, \quad (9)$$

где $\beta = \frac{p_п \psi_B{}^2}{R}$ – жёсткость механической характеристики.

Уравнение (9) имеет критические параметры скорости и момента:

$$\omega_к = \omega_0 \left(1 \pm \frac{\sqrt{1+T^2\omega^2}}{T\omega_0}\right); \quad M_к = \frac{\pm\beta}{2T(\sqrt{1+T^2\omega^2} \pm T\omega_0)}.$$

Данное уравнение механической характеристики (9) вентильного электродвигателя определяет нелинейную зависимость скорости и момента двигателя. Рассчитаем график механической характеристики вентильного электродвигателя LD052-080E [4] и представим на рисунке 1 при нулевом угле смещения коммутации ключей инвертора.

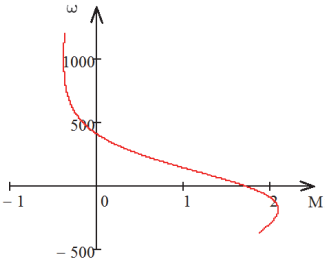


Рисунок 1 – Механическая характеристика вентильного электродвигателя LA052-080E

Механическая характеристика вентильного электродвигателя является критически важным аспектом, так как позволяет специалистам не только оценивать эффективность работы вентильного электродвигателя, но и выявлять оптимальные режимы его эксплуатации. Это особенно актуально в условиях изменения нагрузки, когда необходимо поддерживать стабильную работу оборудования и минимизировать риск перегрева или перегрузки двигателя. Кроме того, правильная интерпретация механической характеристики способствует более эффективному управлению электродвигателями. Это знание дает возможность оптимизировать систему автоматизации, внедряя современные методы управления, такие

как векторное управление или управление с помощью программируемых логических контроллеров [5].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Терехов В.М. Системы управления электроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов ; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006.

2. Алексеев И. Управление вентильным электродвигателем / И. Алексеев, А. Глубоков, А. Пашкевич // Электронные компоненты. – 2008. – № 3. – С. 117-124.

3. Авторское свидетельство № 1262678 A1 СССР, МПК H02P 6/12, H02K 29/00. Вентильный электродвигатель : № 3738859 : заявл. 15.05.1984 : опубл. 07.10.1986 / А. А. Иванов, В. К. Лозенко, О. Н. Рублева ; заявитель МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ. – EDN USMQVG.

4. Серия серводвигателей LA052 // Спецификация [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL https://forum.linuxcnc.org/media/kunena/attachments/9338/LA052.pdf

5. Векторное управление двигателем // Инженерные решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL http://engineering-solutions.ru/motorcontrol/vector

УДК 621.365

Зубарев Иван Петрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Zubarev Ivan Petrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Serikov Aleksandr Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ НАГРУЗОК

FEATURES OF FURNACE TRANSFORMER OPERATION UNDER HIGH LOAD CONDITIONS

Аннотация. В статье рассматривается печной трансформатор, его конструктивные особенности, метод расчета, а также характеристики вторичной обмотки. Особое внимание уделяется вопросам перегрева обмоток и способам его предотвращения. Также анализируется система охлаждения трансформатора, обеспечивающая его надежную и эффективную работу в условиях высоких нагрузок.

Abstract. The article discusses a furnace transformer, its design features, calculation method, and secondary winding characteristics. Particular attention is paid to issues of winding overheating and methods for preventing it. The transformer cooling system, which ensures its reliable and efficient operation under high load conditions, is also analyzed.

Ключевые слова: трансформатор, нагрева металлических изделий, тепловой обмен, вторичная обмотка, перегрев.

Key words: transformer, heating of metal products, heat exchange, secondary winding, overheating.

Технология штамповки деталей из титановых сплавов предусматривает предварительный нагрев заготовки до температуры, необходимой для размягчения материала. Для таких операций широко используется электроконтактный нагрев. Важным элементом в этой технологии является трансформатор, во вторичной обмотке которого, протекают достаточно большие токи. Печной трансформатор – это специализированное электротехническое устройство, предназначенное для электроконтактного нагрева металлических изделий. Поскольку некоторые материалы, например титановые сплавы, при нагреве взаимодей-

ствуют с окружающей средой, то требуется высокая скорость нагрева. Это, в свою очередь, приводит к необходимости протекания высоких токов в обмотках трансформатора, что может вызвать их перегрев и привести к аварийному отключению оборудования. В связи с перегревом обмоток, необходимо скорректировать варианты охлаждения, позволяющие поддерживать оптимальный температурный режим во время эксплуатации [1].

Целью работы является выявление особенностей работы трансформатора в условиях высоких нагрузок, которые превышают номинальные значения, а также поиск основных путей их устранения. Несмотря на то, что обмотки печного трансформатора спроектированы с учетом высоких токовых нагрузок и выполнены из проводников соответствующего сечения, на практике наблюдается их перегрев, приводящий к срабатыванию тепловой защиты и аварийному отключению трансформатора. Это свидетельствует о том, что фактические тепловые потери в обмотках превышают допустимые значения, что может быть обусловлено рядом факторов, например, при нагреве заготовок большого поперечного сечения. В таких режимах работы трансформатора проявляется недостаточная эффективность теплоотвода, наличие локальных зон перегрева, а также возможные отклонения в условиях эксплуатации от расчетных режимов.

Для устранения выявленной проблемы перегрева обмоток и повышения надежности работы трансформатора необходимо провести анализ его конструкции и режима работы. Важным этапом такого анализа является расчет трансформатора в целом, а также расчет параметров обмоток, учитывающий тепловые и электрические нагрузки.

Однофазный печной трансформатор ОЭСК 250/40 представляет собой устройство мощностью 250 кВА с номинальным напряжением на первичной обмотке 380 В и регулируемым вторичным напряжением до 80 В. Его основное назначение – питание электрических цепей с нагрузкой в виде нагреваемой электропроводной заготовки. Такие цепи работают при низком напряжении и высоком токе. Конструктивно трансформатор состоит из П-образного магнитопровода, первичной и вторичной обмоток и системы вывода токоведущих частей (рисунок 1). Охлаждение происходит естественной конвекцией и излучением.

Магнитопровод изготавливается из холоднокатаной анизотропной электротехнической стали с высокой магнитной проницаемостью, что снижает потери на гистерезис и вихревые токи. Первичная обмотка выполнена из медной проволоки, состоит из двух одинаковых катушек и размещается на стержнях. Вторичная обмотка сконструирована из медных шин большого сечения, обладающих большой механической прочностью и высокой электрической проводимостью [2].

Для оценки температурного режима работы обмоток необходимы величины протекающих токов, которые определяются по формулам:

$$I_1 = \frac{S_1}{U_1}; \quad I_2 = \frac{S_2}{U_2}, \tag{1}$$

где I_1, I_2 – токи первичной и вторичной обмоток, соответственно; S_1, S_2 – полная мощность первичной и вторичной обмоток трансформатора; U_1, U_2 – напряжение на первичной и вторичной обмотках.



Рисунок 1 – Трансформатор ОЭСК 250/40

С учётом падения напряжения на сопротивлении первичной обмотки электродвижущая сила (ЭДС) E_1 определяется по формуле:

$$E_1 = U_1 - \Delta U_1, \tag{2}$$

где ΔU_1 – падение напряжения на сопротивлении обмотки.

Так как падение напряжения ΔU_1 в первичной обмотке намного меньше подводимого напряжения, то ЭДС E_1 этой обмотки приближённо принимается равной номинальному напряжению сети.

Число витков первичной обмотки W_1:

$$W_1 = \frac{E_1}{4{,}44 \cdot f \cdot B \cdot S_c}, \quad (3)$$

где f – частота сети; B – максимальная магнитная индукция в сердечнике; S_c – сечение стержня сердечника.

Сечение обмоточного провода q_1 определяется по плотности тока J:

$$q_1 = \frac{I_1}{J}. \quad (4)$$

Потери в меди $P_м$:

$$P_м = I^2 \cdot R, \quad (5)$$

где R – активное сопротивление обмотки.

Потери в стали $P_с$ определяются по удельным потерям при выбранной индукции B и массе магнитопровода.

Коэффициент полезного действия трансформатора η оценивается по формуле:

$$\eta = \frac{S_2}{S_1} = \frac{S_2}{S_2 + P_м + P_с}. \quad (6)$$

Тепловой баланс вторичной обмотки оценивается по мощности тепловых потерь $Q_м$ и по величине мощности, отводимой с помощью системы охлаждения $Q_{охл}$. Эти мощности определяются по формулам:

$$Q_м = I_2^2 \cdot R_2, \quad (7)$$

$$Q_{охл} = \alpha S_{пов}(T_{обм} - T_о), \quad (8)$$

где α – коэффициент теплоотдачи; $S_{пов}$ – поверхность обмотки; $T_{обм}$ – температура обмотки; $T_о$ – температура охлаждающей среды.

Для нормальной работы трансформатора необходимо выполнения следующего условия:

$$Q_м \leq Q_{охл}. \quad (9)$$

В результате расчета установлено, что тепловые потери обмоток превышают допустимые. Эти потери приводят к интенсивному нагреву обмоток и могут стать причиной регулярных отключений трансформатора по тепловой защите. Следовательно, требуется обеспечить эффективное охлаждение обмоток и контроль температурного режима.

Для этого можно установить вентиляторы, которые будут направлять поток воздуха непосредственно на обмотки, что значительно увеличит интенсивность теплоотдачи. Это позволит снизить температуру обмоток даже при высоких токовых нагрузках. Так же можно увеличить площадь теплообмена, применив радиаторы, различные оребрения или перфорированные кожухи, которые будут способствовать более эффективному рассеянию тепла [3].

Таким образом, в ходе анализа работы трансформатора в условиях высоких нагрузок были выявлены ключевые проблемы, связанные с перегревом обмоток. Этот перегрев, вызванный значительными токовыми нагрузками, может привести к регулярным срабатываниям тепловой защиты, что сказывается на производительности и качестве изготовляемых деталей, а также снижает надежность и продолжительность эксплуатации оборудования. В качестве решения предложены различные конструктивные меры, направленные на эффективное охлаждение обмотки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сидоров, С. С. Современные методы управления электротермическими системами / С. С. Сидоров – Санкт-Петербург : Политехпресс, 2019. – 340 с.

2. Ганчарук, А. И. Расчёт и конструирование трансформаторов / А. И. Ганчарук – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

3. Тихомиров, П. М. Расчёт трансформаторов / П. М. Тихомиров – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.

УДК 621.314
Иванов Виктор Викторович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ivanov Viktor Viktorovich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Serikov Alexsandr Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА РАЗМЕРЫ БЛОКА ТЕПЛООБМЕНА

THE INFLUENCE OF GEOMETRIC COEFFICIENT OF A POWER TRANSFORMER ON HEAT EXCHANGE UNIT DIMENTIONS

Аннотация. В работе проведено исследование влияния геометрического коэффициента силового трансформатора и мощности блока теплообмена на толщину стенки блока. Исследование проводилось для блока теплообмена кольцевого типа. Приведенные исследования позволят сделать предварительную оценку и при необходимости изменить соответствующие параметры силового трансформатора для увеличения толщины стенки блока теплообмена.
Abstract. The study investigated the influence of the geometric coefficient of the power transformer and the power of the heat exchange unit on the wall thickness of the unit. The research was conducted for a ring-type heat exchange unit. The presented studies will allow for a preliminary assessment and, if necessary, the adjustment of the corresponding parameters of the power transformer to increase the wall thickness of the heat exchange unit.
Ключевые слова: исследование, геометрический коэффициент, блок теплообмена.
Key words: studies, geometric coefficient, heat exchange unit.

Силовые трансформаторы играют ключевую роль в передаче и распределении электроэнергии. Такие преобразователи электрической энергии работают в условиях высоких электрических нагрузок, выделяя значительное количество тепла, которое при отсутствии надлежащего управления может привести к снижению эффективности, перегреву, разрушению изоляции и, в конечном счете, к выходу трансформатора из строя. Поэтому эффективный отвод тепла является ключевым моментом при проектировании трансформаторов. Для управления теплоотводом используются различные конструкции теплообменных устройств, в которых предусматривается развитая поверхность, что влияет на эффективность и мощность систем охлаждения.

Соотношение основных размеров силового трансформатора, определяемое геометрическим коэффициентом β, играет важную роль при расчете теплообменного блока. Так как этот коэффициент может варьироваться в широких пределах, то необходимо исследовать зависимость размеров теплообменного блока от значения β. Оптимальное значение β зависит от поставленной задачи проектирования – минимальной стоимости трансформатора при сохранении величины механической прочности в допустимых пределах. Поскольку представленную конструкцию предлагается использовать среди серийных трансформаторов, то будем предполагать, что такие их параметры, как потери и напряжение короткого замыкания, потери и ток холостого хода, изначально известны из их технических (паспортных) данных [1]. В этом случае экономичность работы трансформатора в эксплуатации определяется заданными параметрами и может не рассматриваться. Для определения наиболее эффективной конфигурации блока теплообмена исходя из эффективности отбора тепла и экономических затрат было проведено исследование влияния на эти показатели геометрического коэффициента β, который определяется по формуле:

$$\beta = \frac{\pi d_{об}}{l_{об}}, \quad (1)$$

где $d_{об}$ – средний диаметр обмоток трансформатора; $l_{об}$ – высота обмоток трансформатора.

Значение β может варьироваться в пределах от 1 до 3,5. При этом меньшим значениям β соответствуют трансформаторы относительно узкие и высокие, а большим – широкие и низкие. На рисунке 1 представлены два трансформатора одинаковой мощности, одного класса напряжения, рассчитанных при одинаковых исходных данных, с одинаковыми параметрами короткого замыкания. Поскольку значение β может варьироваться в заданных пределах, то в работе была исследована зависимость поверхности теплообмена *F* от величины β. Очевидно, что при меньшем значении β увеличивается поверхность теплообмена *F*, однако при этом возрастает стоимость материалов на изготовление блока теплообмена и уменьшается его механическая прочность. Для определения наиболее эффективной конструкции теплообменного блока, обладающего наибольшей поверхностью теплообмена при низкой цене материалов, был проведен анализ зависимости поверхности теплообмена *F* и затрат на материалы от геометрического коэффициента β. Исследования проводились для трансформатора мощностью 160 кВА, В работе рассматривались конструкция блока теплообмена кольцевого типа (рисунок 2).

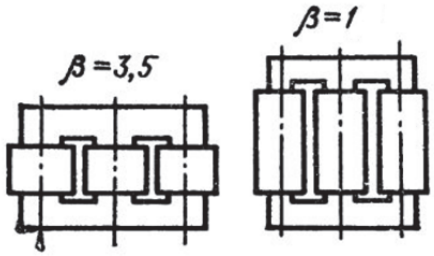


Рисунок 1 – Влияние коэффициента β на размеры активной части трансформатора

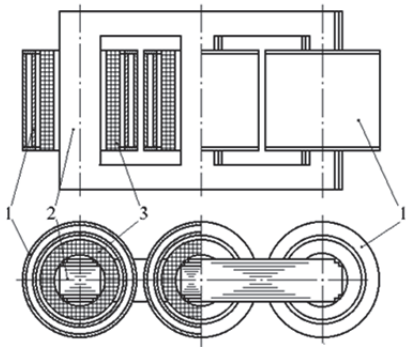


Рисунок 2 – Трансформатор с блоком теплообмена кольцевого типа

Конструкция теплообменного блока состоит из двух немагнитных стальных цилиндров и торцевых диэлектрических крышек. Расчеты поверхности теплообмена и толщины цилиндров блока проведены согласно нижеприведенным формулам.

Высота теплообменного блока

$$h_б = \frac{\pi d_{об}}{\beta} \quad (2)$$

где $d_{об}$ – средний диаметр силовых обмоток трансформатора.

Исследование проводилось для диапазона значений β от 1,2 до 1,6, так как он является рекомендованным для трансформаторов мощностью 160 кВА [2]. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета площади поверхности теплообмена и высоты теплообменного

β	Площадь поверхности теплообмена *F*, м^2	Высота теплообменного блока $h_б$, мм
1,2	1,41	706
1,3	1,36	652
1,4	1,31	605
1,5	1,26	562
1,6	1,19	529

Из таблицы 1 видно, что с уменьшением геометрического коэффициента β увеличивается поверхность теплообмена теплообменного блока. Так как при изготовлении теплообменного блока толщина его стенки должна составлять более 1 мм [3], то необходимо провести исследование зависимости толщины стенки такого блока от β.

Активное электрическое сопротивление наружного и внутреннего цилиндров блока теплообмена

$$R_{\text{цн}} = \rho \frac{\pi D_{\text{срн}}}{h_{\text{б}} \delta_{\text{б}}};\ R_{\text{цв}} = \rho \frac{\pi D_{\text{срв}}}{h_{\text{б}} \delta_{\text{в}}} \tag{3}$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление материала цилиндров; $D_{\text{срн}}$, $D_{\text{срв}}$ – средний диаметр наружного и внутреннего цилиндров соответственно; $\delta_{\text{б}}$ – толщина стенки цилиндров.

Мощность тепловых потерь, выделяющихся в наружном и внутреннем цилиндре блока теплообмена

$$P_{\text{цн}} = \frac{U_{\text{в}}^2}{R_{\text{цн}}};\ P_{\text{цв}} = \frac{U_{\text{в}}^2}{R_{\text{цв}}}, \tag{4}$$

где $U_{\text{в}}$ – напряжение витка на блоке теплообмена.

Полная мощность блока теплообмена

$$P_{\text{б}} = P_{\text{цн}} + P_{\text{цв}} = U_{\text{в}}^2 \cdot \left(\frac{1}{R_{\text{цн}}} + \frac{1}{R_{\text{цв}}}\right) = \frac{U_{\text{в}}^2 h_{\text{б}} \delta_{\text{б}}}{\rho\pi}\left(\frac{1}{D_{\text{срн}}} + \frac{1}{D_{\text{срв}}}\right). \tag{5}$$

Толщина стенки цилиндра блока теплообмена

$$\delta_{\text{б}} = \frac{P_{\text{Б}} \rho \pi D_{\text{срн}} D_{\text{срв}}}{U_{\text{в}}^2 h_{\text{б}} (D_{\text{срн}} + D_{\text{срв}})}\ . \tag{6}$$

В результате расчетов были получены зависимости толщины стенки цилиндров блока теплообмена $\delta_{\text{б}}$ от геометрического коэффициента β для разных значений мощности блока теплообмена $P_{\text{б}}$ (таблица 2). В качестве материала цилиндров принята немагнитная сталь 08Х3, удельное сопротивление которой позволяло получить толщину цилиндров блока теплообмена более 1 мм в рассматриваемом диапазоне изменения коэффициента β и при мощностях тепловыделений в блоке от 10 кВт до 50 кВт.

Таблица 2 – Результаты расчета толщины стенки блока теплообмена $\delta_{\text{б}}$, мм

$P_{\text{б}}$, Вт	Геометрический коэффициент β				
	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
10	1,19	1,24	1,28	1,37	1,49
20	1,23	1,29	1,37	1,43	1,58
30	1,46	1,57	1,64	1,71	1,82
40	1,61	1,69	1,73	1,82	1,89
50	1,68	1,76	1,81	1,86	1,94

На рисунке 3 приведены графики, полученные по результатам расчетов.

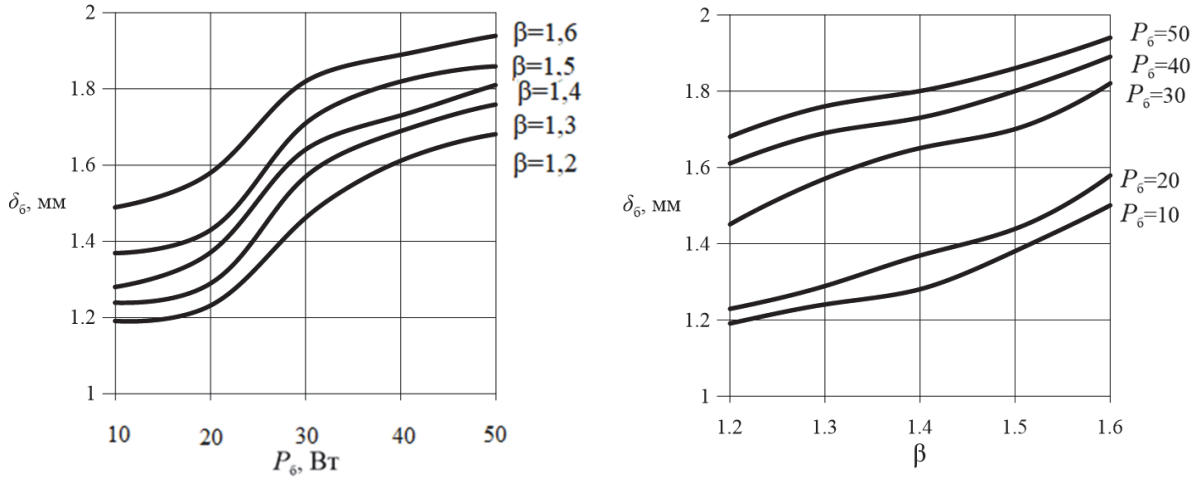


Рисунок 3 – Результаты исследований

По графику (рисунок 3) видно, что с увеличением геометрического коэффициента β и мощности теплообменного блока $P_б$ растет значение толщины стенки. Приведенные исследования позволяют производить аналогичные расчеты для трансформаторов других мощностей, позволяя сделать предварительную оценку и при необходимости изменить соответствующие параметры трансформатора для увеличения толщины стенки блока теплообмена.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, В.В. Особенности расчета трансформаторов с нагревательным блоком / В.В. Иванов, А.В. Сериков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 127-128.

2. Тихомиров, П.М. Расчет трансформаторов / П.М. Тихомиров. – Москва : Альянс, 2016. – 527 с.

3. Иванов, В.В. Методика оценки эффективности использования тепловых потерь трансформатора / В.В. Иванов, А.А. Чулибин, А.В. Сериков // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Комсомольск-на-Амуре, КнАГУ, 2023. – С. 197-200.

УДК 681.5

Иванюта Ярослав Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ivanyuta Yaroslav Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Бородин Михаил Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Borodin Mikhail Alexandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сухоруков Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sukhorukov Sergei Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

СОЗДАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧПУ СПОСОБОМ ЛАЗЕРНОГО ВЫЖИГАНИЯ

MANUFACTURING OF PRINTED CIRCUIT BOARDS USING CNC LASER BURNING TECHNOLOGY

Аннотация. В работе рассматривается использование технологии лазерного выжигания на ЧПУ-установке для изготовления печатных плат. Описаны существующие методы создания шаблонов для последующего травления, а также проведено сравнение по экономическим и технологическим параметрам. Также представлен пошаговый процесс изготовления печатной платы от подготовки отверстий до завершения травления
Abstract. The paper considers the use of laser burning technology on a CNC machine for the manufacture of printed circuit boards. The existing methods of creating templates for subsequent etching are described, as well as a comparison of economic and technological parameters. A step-by-step PCB manufacturing process is also presented, from hole preparation to etching completion.
Ключевые слова: Печатная плата, ЧПУ, лазерное выжигание, фоторезист, травление.
Key words: Printed circuit board, CNC, laser burning, photoresist, etching.

Для создания малых партий или одиночных печатных плат традиционно используются методы, позволяющие нанести на поверхность дорожки, а поверхность меди между

ними оставить нетронутой, что позволит избавиться от ненужной меди между дорожками химическим методом. Основными методами нанесения рисунка дорожек печатной платы считаются: технология термотрансфера тонера лазерного принтера на медь, технология фоторезистивной шаблонной засветки, нанесение дорожек плат вручную, с помощью стойкого маркера. Так, для технологии термотрансфера используется специальная бумага, дорогой и качественный лазерный принтер и устройство нагрева (обычно используют утюг для белья). Технология фоторезисивной шаблонной засветки требует качественный фоторезист, качественный шаблон, напечатанный на прозрачной плёнке, станцию ультрафиолетовой засветки и специальные химикаты для растворения не засвеченной фоторезистивной плёнки, и для последующего растворения плёнки с готовой платы. Ручной метод, в свою очередь не требует каких-либо дополнительных материалов, кроме специального маркера, который не смывается при химическом растворении, но такой метод занимает в разы больше времени, когда речь идёт о сложных печатных платах, а результат может быть не совсем аккуратным, в зависимости от человека, наносящего изображение.

Кроме того, для создания печатных плат широко используют недорогие ЧПУ станки, которые построены на базе программного обеспечения GRBL, и позволяют, в зависимости от строения, производить широкий спектр работ, необходимых для создания качественных печатных плат, начиная от фрезеровки отверстий и вырезов в текстолите, заканчивая прямой фрезеровкой дорожек на печатной плате. Все сценарии использования, кроме прямой фрезеровки дорожек подразумевают последующее вытравливание с использованием одного из методов, описанных выше, а прямая фрезеровка, в свою очередь требует очень точного процесса настройки как управляющей программы, так и станка, причём не каждый дешёвый станок поддерживает столь точную фрезеровку.Обычно дешёвые станки также снабжаются светодиодным лазером с длиной волны от 405 до 650 нм. Этот лазер не способен выжигать медь, из-за того, что излучение с этой длинной волны не поглощается металлами. Но такой лазер может засвечивать фоторезист или выжигать тонкий слой неметаллического материала. Рассмотрим использование лазера ЧПУ устройства в двух способах, рассчитаем экономическую составляющую и повторяемость при создании мелкой партии плат. Для засветки фоторезиста необходим лазер с длиной волны 405 нм, а также имеющий хорошую фокусировочную линзу, которая будет исключать дополнительную засветку фоторезиста от несфокусированного излучения. Помимо того, необходим целый набор оборудования и расходных материалов для проведения самого процесса фоторезистивного создания печатной платы (см. Таблица 1). Повторяемость такого метода будет зависеть от большого количества факторов: Качества фоторезиста, качества фокусирующей линзы, от последующего процесса обработки фоторезиста.

Таблица 1 – Стоимость оборудования и расходных материалов

Лазерная засветка фоторезиста	
Оборудование	Цена
ЧПУ станок CNC3018	24 000р
Лазер с улучшенной линзой	10 000р
Фоторезист листовой	600р/м^2
Сода кальцинированная для снятия не засвеченного фоторезиста	100р/кг
Лазерное выжигание шаблона	
Оборудование	Цена
ЧПУ станок CNC3018	24 000р
Грунт-эмаль	800р/шт

Для метода лазерного выжигания шаблона травления используют грунт или эмаль чёрного цвета, нанесённые тонким слоем на текстолит. После нанесения этот слой выжигается лазером полностью и не требует особой последующей обработки, единственное действие после выжигания, которое может понадобится – смывка нагара при помощи мокрой салфетки, что означает возможность начать вытравливание сразу же после выжигания дорожек, таким образом сильно сокращается количество необходимых расходных материалов

для одной платы. Рассмотрим метод лазерного выжигания для создания печатных плат, начиная с подготовки отверстий и завершая травлением.

Первым этапом является нанесение на стеклотекстолит тонкого слоя краски, в нашем случае мы взяли серую эпоксидную грунт-эмаль, которая позволяет нанести равномерный слой. (Рисунок 1а) Далее материал фиксируется на столе ЧПУ-станка, после чего создаётся управляющая программа (G-code) для фрезеровки монтажных отверстий. Для передачи программы на оборудование используется ПО Candle. Результатом этого этапа станет текстолит с нанесённой краской и готовыми отверстиями.

Следующий шаг — лазерная гравировка дорожек (рисунок 1б). Лазерная головка фокусируется, а управляющий G-code, созданный в программе FlatCam с использованием постпроцессора «GRBL_Laser», загружается в ЧПУ через ПО LaserGRBL. Это позволяет выполнить точное выжигание линий вокруг дорожек и отверстий. На выходе получается текстолит с выжженными областями, подлежащими травлению. Завершающий этап — травление платы в растворе хлорного железа для удаления меди с незащищённых участков. После этого остатки краски с дорожек удаляются ацетоном, что обеспечивает готовность платы к дальнейшему монтажу. (Рисунок 1в)

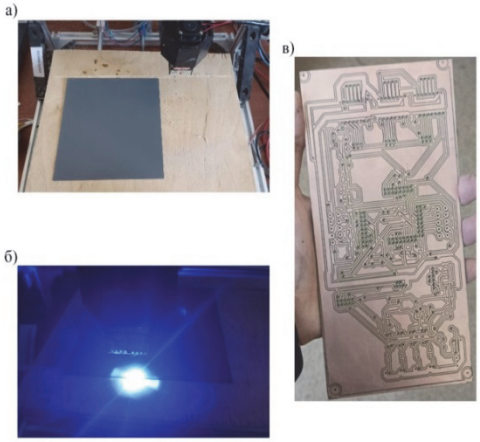


Рисунок 1 – Процесс изготовления печатной платы

Использование технологии лазерного выжигания для создания печатных плат на ЧПУ-установках позволяет получить доступный и экономически целесообразный метод прототипирования и мелкосерийного производства. По сравнению с традиционными методами, такими как фоторезистивная засветка или термотрансфер, лазерная гравировка шаблона значительно сокращает количество необходимых этапов и расходных материалов.

В рамках данной работы был продемонстрирован пошаговый процесс изготовления печатной платы методом лазерного выжигания — от сверления монтажных отверстий и формирования шаблона до финального этапа химического травления. Представленный подход показал не только экономическую эффективность, но и достаточную повторяемость, что делает его подходящим для использования в учебных и лабораторных условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Лазерная техника и технология: учебное пособие для вузов: в 7 книгах. Книга 3. Методы поверхностной лазерной обработки / А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов. — 3-е изд., стер. — Москва : DirectMEDIA; Берлин, 2021. — 304 с. — ISBN 978-5-4475-9433-9.

2. Nowak M., Antonczak A.J., Kozioł P.E., Abramski K.M. Laser prototyping of printed circuit boards // Opto-Electronics Review. — 2013. — Vol. 21, No. 3. — P. 330–334.

3. Александров А.А. Печатные платы. Практическое пособие для студентов / А.А. Александров. — Москва : ЛитРес, 2018. — 150 с. — ISBN 978-5-532-11345-6.

УДК 681.5
Кенджазода Хокимшох Хуршед, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kendzhazoda Khokimshokh Khurshed, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Егоров Владислав Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Egorov Vladislav Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Electric drive and automation of production plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

АРХИВИРОВАНИЕ ДАННЫХ В ПАНЕЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРАХ ФИРМЫ ОВЕН

DATA ARCHIVING IN PANEL CONTROLLERS OF THE OWEN COMPANY

Аннотация. Приведено описание порядка работы по созданию архива данных с использованием библиотеки ArchivatorOwenLib для панельных контроллеров серии СПКxxx фирмы Овен. Реализован проект по архивации значений четырех переменных. Показана работа с функциональными блоками GetData и WriteData библиотеки Archiva-torOwenLib, на языке структурированного текста. Описан порядок доступа к архивным данным, с использованием приложения WinSCP.
Abstract. The description of the procedure for creating a data archive using the ArchivatorOwenLib library for panel controllers of the SPKxxx series from Owen is given. A project for archiving the values of four variables is implemented. The work with the GetData and WriteData functional blocks of the ArchivatorOwenLib library is shown, in the language of structured text. The procedure for accessing archive data using the WinSCP application is described.
Ключевые слова: панельные контроллеры, фирма Овен, архивирование данных, CoDeSys v3, WinSCP
Key words: panel controllers, Oven company, data archiving, CoDeSys v3, WinSCP

Возрастающая потребность в модернизации нефтегазовой, электроэнергетической, водораспределительной и водоочистительной инфраструктур, автомобилестроения, транспортного сектора, пищевой, фармацевтической, химической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности способствует расширению внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) на предприятиях.

При решении задач автоматизации производств, в условиях международного санкционного давления, следует отдавать предпочтение отечественному производителю. На российском рынке, одним из динамично развивающихся производителей оборудования для систем промышленной автоматизации, является компания «Овен».

Компания осуществляет выпуск панельных контроллеров серий СПК1xx, СПК2xx с сенсорным экраном. В системах малой автоматизации такие контроллеры незаменимы, так как совмещают в себе два устройства: контроллер и сенсорную панель оператора, что минимизирует расходы на оборудование. Одной из базовых функций любой автоматизированной системы управления технологическим процессом является архивирование технологических параметров и аварийных сообщений. Архивные или исторические данные могут понадобиться для оптимизации технологического процесса или сохранении результатов длительного эксперимента. В статье приводится описание порядка работы по созданию архива данных с использованием библиотеки ArchivatorOwenLib для панельных контроллеров серии СПКxxx фирмы Овен. Реализован проект по архивации значений четырех переменных. Показана работа с функциональными блоками GetData и WriteData библиотеки ArchivatorOwenLib, на языке структурированного текста. Описан порядок доступа к архивным данным, с использованием приложения WinSCP.

Прежде всего следует скачать по ссылке [1] и установить в среде CoDeSys 3.5 библиотеку «ArchivatorOwenLib_0.1.compiled-library». Порядок установки библиотеки описан

в [2]. Затем, в среде CoDeSys 3.5, под имеющуюся целевую платформу СПКxxx, со-здать проект, с исходным кодом (рисунок 1).

В проекте созданы: функциональный блок Arc1_1, типа GetData, для формирования строки и заголовка; функциональный блок Arc1_2, типа WriteData, для записи сформированной строки в архив. Перечисленные функциональные блоки содержатся в библиотеке ArchivatorOwenLib. Подробное их описание, с примером использования приведено в [2].

После компиляции, проект был загружен в контроллер, и сформировал в его памяти архив с именем ar1_20250319.log, содержащий несколько одинаковых записей. Эти записи сохранены с интервалом, равным 1-ой минуте. Значение интервала опреде-лено в переменной TP1.PT программы PLC_PRG. Содержимое архива приведено на рисунке 2.

Просмотр архива на СПКxxx можно осуществить, при помощи бесплатного программного обеспечения WinSCP. Порядок работы с приложением WinSCP приведён в [2]. Для просмотра содержимого архива необходимо остановить проект, не выгружая его из контроллера. Запустить приложение WinSCP и следовать инструкциям из [2]. Скачать приложение WinSCP можно по ссылке [3]. Настройка параметров соединения с сервером СПКxxx показана на рисунке 3.

Просмотр архива на СПКxxx можно осуществить, при помощи бесплатного программного обеспечения WinSCP. Порядок работы с приложением WinSCP приведён в [2]. Для просмотра содержимого архива необходимо остановить проект, не выгружая его из контроллера. Запустить приложение WinSCP и следовать инструкциям из [2]. Скачать приложение WinSCP можно по ссылке [3]. Настройка параметров соединения с сервером СПКxxx показана на рисунке 3.

PLC_PRG

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
    Arc1_1:GetData; //блок формирования строки и заголовка
    Arc1_2:WriteData; // блок записи в архив
    x:BYTE:=100; //переменные для архивации
    y:WORD:=200;
    z:DWORD:=300;
    str1:STRING:='archiv1';
    b:BOOL; //флаг запуска таймера
    tp1:TON; // таймер для задания периода архивации
END_VAR
```

```
b:=TRUE; //установка флага запуска таймера
IF tp1.Q THEN
b:=FALSE; // сброс флага запуска таймера
END_IF
Arc1_1.SetHead(); //создать заголовок
// Сохранить значения 4-х переменных в блок Arc1_1
Arc1_1( Name:='x', Tip:=1, Znachenie:=ADR(x));
Arc1_1( Name:='y', Tip:=2, Znachenie:=ADR(y));
Arc1_1( Name:='z', Tip:=3, Znachenie:=ADR(z));
Arc1_1( Name:='text', Tip:=4, Znachenie:=ADR(str1));
//запись переменных из блока Arc1_1 в архив, по завершению отсчета таймера
//имя архива ar1
//путь к архиву root/mnt/ufs/media/sda1/
Arc1_2(Enable:=tp1.Q, ArcPnt:=ADR(Arc1_1), NameArc:='ar1', Path:='/mnt/ufs/media/sda1/');
TP1(IN := b, PT:= T#1M); //запуск таймера
```

Рисунок 1 – Исходный код проекта архивации данных

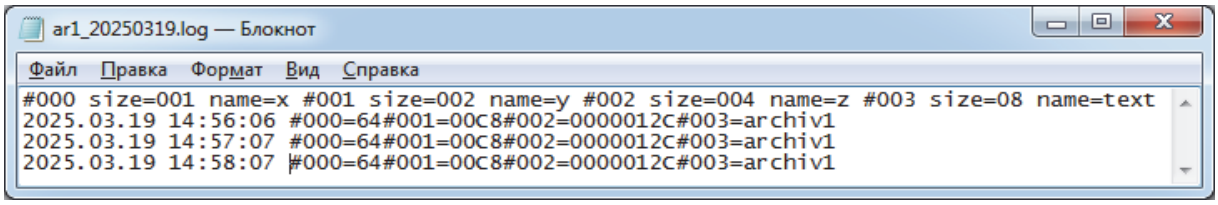


Рисунок 2 – Содержимое архива

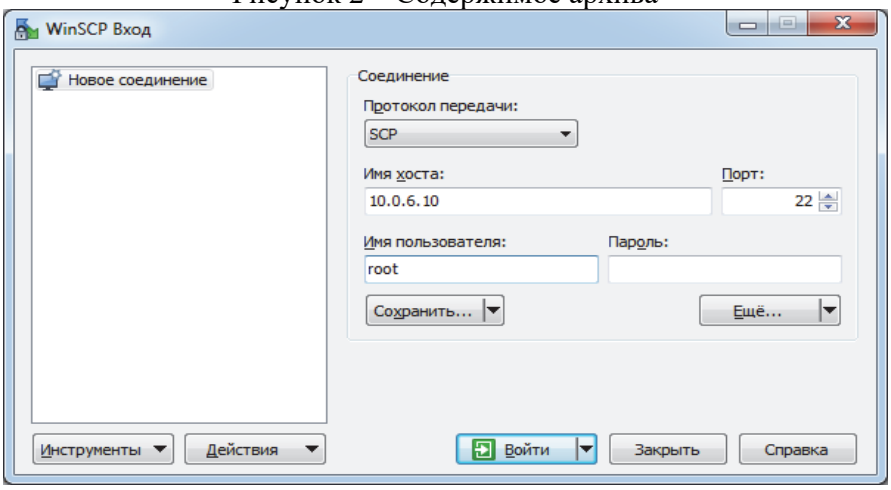


Рисунок 3 – Настройка параметров соединения с сервером СПКxxx

Файл ar1_20250319.log, содержимое которого приведено на рисунке 2, состоит из заголовка, в котором, для каждой из четырёх переменных указаны: номер перемен-ной, её размер и имя.

В файл сохранены три однотипные записи в моменты времени 14:56, 14:57 и 14:58. Таким образом, временной интервал между записями составляет 1-у минуту.

Из файла следует, что значение переменной x=0x64, значение переменной y=0xC8, значение переменной z=0x12C, значение переменной text=’archiv1’. При пере-воде значений переменных x, y и z в десятичную систему получаем значения 100, 200 и 300 соответственно, что совпадает со значениями переменных в коде программы (рисунок 1).

Таким образом, архив сформирован корректно. Методика архивации проверена и показала свою работоспособность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. CoDeSys3/04_Library/02_Manual_installation [Электронный ресурс] // URL: https://ftp.owen.ru/CoDeSys3/04_Library/02_Manual_installation/ (Дата обращения: 21.03.2025).

2. ArchivatorOwenLib_v1.pdf [Электронный ресурс] // URL: https:// ftp.owen.ru /CoDeSys3/04_Library/03_Documentation/ (Дата обращения: 21.03.2025).

3. WinSCP 6.3 [Электронный ресурс] // URL: https://winscp.net/eng/download.php (Дата обращения: 21.03.2025).

УДК 621.38

Клопов Андрей Николаевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Klopov Andrey Nikolaevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Любушкина Надежда Николаевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Liubushkina Nadezhda Nikolaevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University
Солецкий Вячеслав Вадимович, инженер-технолог, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Soletsky Vyacheslav Vadimovich, Engineer-technologist, Komsomolsk-na-Amure State University

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСРЕДНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА КОНВЕРТОПЛАННОГО ТИПА

A STAND FOR STUDYING THE STATIC CHARACTERISTICS OF A TWO-MEDIUM TILTROTOR-TYPE UNMANNED AERIAL VEHICLE

Аннотация. В данной статье подробно рассматривается процесс всестороннего исследования специализированного стенда, предназначенного для снятия и анализа статических характеристик беспилотных летательных аппаратов. Кроме того, рассматривается перспектива внедрения мультипоточной обработки данных, что позволит существенно повысить точность получаемых измерений и аналитических результатов. Такая модернизация также создаёт предпосылки для дальнейшего масштабирования системы, что делает её более гибкой и адаптируемой под различные типы БПЛА и условия эксплуатации.
Abstract. This article describes in detail the process of a comprehensive study of a specialized stand designed to remove and analyze the static characteristics of unmanned aerial vehicles. In addition, the effect of the prospect of the quality of multi-stream data processing, which allows to increase the accuracy of the obtained measurements and analytical results. Such modernization also creates the prerequisites for further expansion of the system, which makes it more flexible and adaptable to various types of UAVs and operating conditions.
Ключевые слова: БПЛА (беспилотные летательные аппараты), статические характеристики, измерительная аппаратура, модернизация, точность измерений.
Key words: UAVs (unmanned aerial vehicles, static characteristics, measuring equipment, modernization, measurement accuracy.

Процесс измерения характеристик беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представляет собой достаточно сложную и многоаспектную задачу, выполнение которой требует не только уверенного владения теоретическими знаниями, но и практических навыков в таких дисциплинах, как математика, механика, аэродинамика, электроника и цифровая обработка сигналов. Точность проводимых измерений напрямую влияет на надёжность последующего анализа, построение моделей поведения аппарата и эффективность его применения в реальных условиях.

Особое внимание при этом необходимо уделять множеству параметров, без учёта которых невозможно получить достоверную и полную картину. Среди них можно выделить массу аппарата, подъемную силу, создаваемую двигателями, длину и шаг винтов, а также скважность широтно-импульсной модуляции, которая определяет характер управления оборотами моторов. Все эти параметры находятся в сложной взаимосвязи и могут существенно влиять друг на друга, особенно при изменении режимов работы или внешних условий [1].

В ходе исследований стало очевидным, что для получения достоверной и комплексной картины статических характеристик всего беспилотного летательного аппарата, необходимо не ограничиваться исследованием только винтомоторной группы, как сделано в большинстве существующих стендов [2; 5].

На первом этапе разработки предусмотрена установка тензометрических датчиков. Планируется монтировать по два тензодатчика на каждую из четырёх осей вращения консолей, что позволит точно фиксировать усилия, возникающие при статических нагрузках. В совокупности это составляет восемь датчиков, каждый из которых требует индивидуального подключения к внешнему аналого-цифровому преобразователю, схема которого представлена на рисунке 1, (АЦП) с высокой разрядностью. Применение таких преобразователей обеспечит необходимую точность при измерении даже незначительных деформаций, что особенно важно для корректного моделирования поведения конструкции при воздействии различных внешних факторов.

Помимо тензометрии, важным направлением является измерение токов, потребляемых системой в процессе работы. Это необходимо как для оценки тяговых характеристик,

так и для определения времени автономной работы аппарата, что критически важно при практическом использовании БПЛА. Однако в данном случае нельзя применять традиционные токовые датчики, такие как датчики Холла или трансформаторы тока, так как они подвержены влиянию высокочастотных помех, создаваемых драйверами бесколлекторных двигателей. Эти помехи значительно искажают показания и снижают точность измерений. Наиболее надёжным и точным решением является использование шунтирующих резисторов, соединённых с инструментальными операционными усилителями.

Такая конфигурация обеспечивает стабильное измерение даже при наличии электромагнитных помех, сохраняя высокую точность при работе с постоянным током. Проведя исследования различных схем для фиксации тока, мы остановили на схеме представленной на рисунке 2.

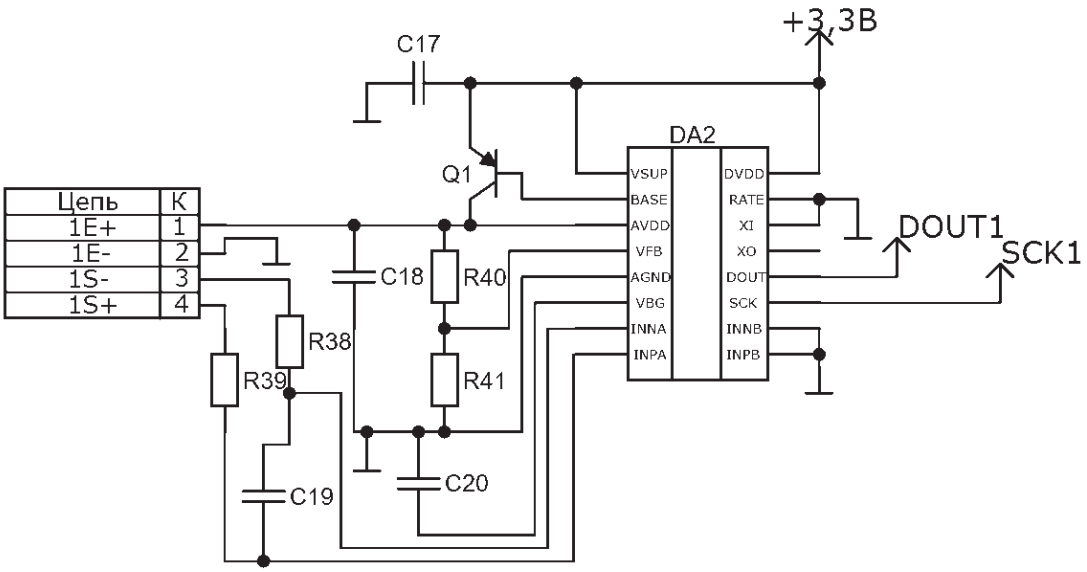


Рисунок 1 – Схема подключения тензометрических датчиков.

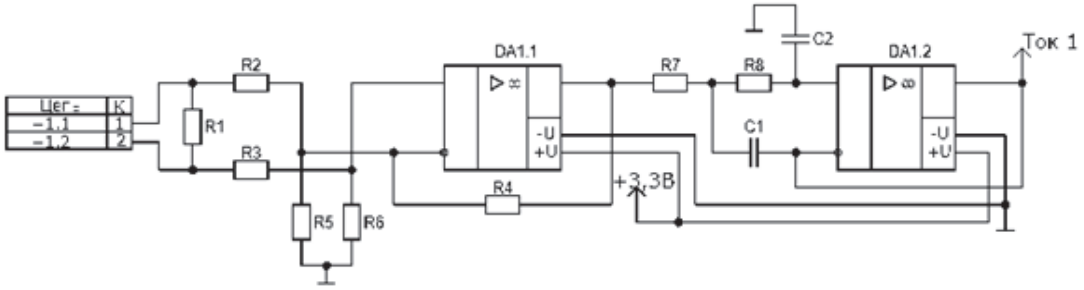


Рисунок 2 – Схема измерения тока при помощи шунтирующего резистора.

Большое количество подключаемых датчиков и периферийных устройств требует значительно более высоких вычислительных мощностей. Каждый установленный тензометрический датчик, каждый канал измерения тока и каждая дополнительная линия сбора данных увеличивают нагрузку на систему управления, создавая необходимость в более мощной и продуманной вычислительной платформе. Использование высокопроизводительного микроконтроллера в данном случае становится не просто целесообразным, а обязательным условием для обеспечения стабильной и точной работы всей измерительной системы.

Тем не менее, даже при большом количестве подключаемых элементов можно добиться оптимизации архитектуры системы за счёт грамотной реализации схемы мультиплексирования и использования принципов многопоточной обработки данных. Это позволяет уменьшить число необходимых портов ввода-вывода, снизить требования к аппаратной части и одновременно повысить эффективность работы программной составляющей. Такой подход делает возможной одновременную работу с большим количеством каналов без снижения точности и скорости обработки сигналов.

Однако без использования вспомогательных микросхем не получится уменьшать количество используемых портов и мультиплексирования, с этой целью пришлось использовать специализированные схемы включения, чтобы была возможность переключать входа-выхода, структурная схема подключения тензометрических датчиков к мультиплексорам представлена на рисунке 3 [4].

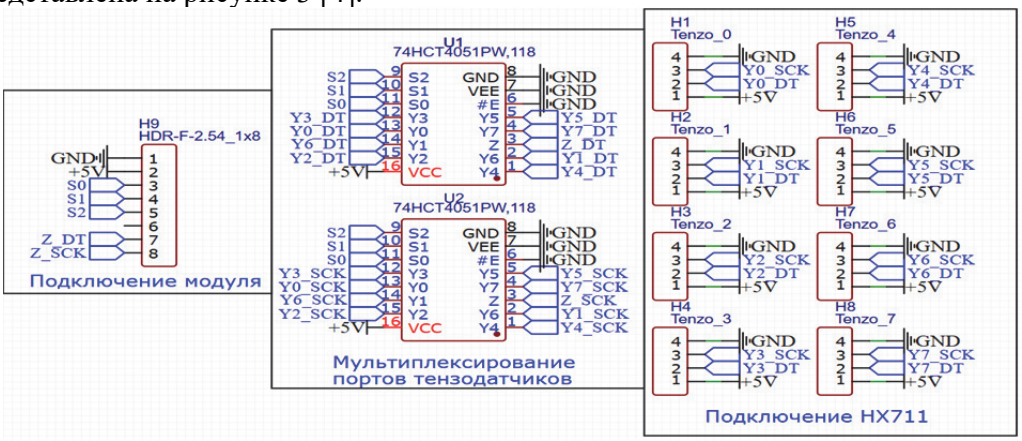


Рисунок 3 – Структура подключения тензометрических датчиков к мультиплексорам

В рамках разработки важным становится не только обеспечение технической совместимости всех компонентов, но и логическая организация их взаимодействия. Благодаря применению современных микроконтроллеров с высокой тактовой частотой и поддержкой параллельной обработки задач удаётся обеспечить синхронный сбор данных, их логирование и передачу без задержек и искажений. При этом стенд преследует не только цель повышения точности измерений, но и значительно расширяет спектр отслеживаемых характеристик. Это даёт возможность анализировать общее поведение всего беспилотного летательного аппарата в сборе, включая сложные взаимосвязи между силовыми установками, механическими узлами и электрическими подсистемами, что значительно повышает достоверность проводимого эксперимента.

Алгоритм функционирования начинается с подключения устройства к источнику питания бортовой сети БПЛА. Происходит инициализация, в которой прописано, какие порты являются активными, как они работают (на вход данных или на выход), указываются скорости работы последовательных портов и т.д. После данной операции выполняется функция установки соединения, которая содержит команды для организации связи между персональным компьютером и микроконтроллером с определенной скоростью передачи данных. Как только от персонального компьютера приходит информация на микроконтроллер, вызывается функция проверки команд, целью которой является сопоставление полученных команд с таблицей заранее прописанных команд в микроконтроллере. Если поступает команда о начале измерений, микроконтроллер начинает отправлять всю статистику с датчиков в реальном времени до получения команды остановки [3].

Проведя исследование было выяснено, что для получения достоверных и полных данных о статических характеристиках беспилотного летательного аппарата необходимо расширить подход к измерениям. Разработка и применение специализированного стенда позволили получить важные данные для выбора оптимальных компонентов, однако дальнейшая модернизация оборудования, в частности за счёт увеличения числа тензометрических датчиков и применения высокоточных методов измерения тока, является необходимым шагом для комплексной оценки характеристик БПЛА.

Применение современных решений, таких как шунтирующие резисторы в связке с инструментальными усилителями, мультиплексирование и многопоточная обработка сигналов, позволит не только повысить точность измерений, но и снизить требования к аппаратной части. Это открывает широкие возможности для масштабирования системы, адаптации под различные типы беспилотных аппаратов и повышения качества исследований в области аэродинамики и энергоэффективности БПЛА. Таким образом, предложенный под-

ход формирует основу для дальнейших разработок в сфере испытательного оборудования и анализа характеристик современных летательных платформ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Солецкий, В.В. Разработка двухсредного беспилотного летательного аппарата / В.В. Солецкий – Тихоокеанский государственный университет – Хабаровск, 2020.

2. Рябов, К. Двухсредный беспилотный аппарат Naviator переходит на новый этап испытаний. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://topwar.ru/230219-dvuhsrednyj-bespilotnyj-apparat-naviator-perehodit-na-novyj-jetap-ispytanij.html (дата обращения 03.04.2025).

3. MAXIM Determining Clock Accuracy Requirements for UART Communications. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://web.archive.org/web/20110919235924/http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN2141.pdf (дата обращения 03.04.2025).

4. ANALOG DEVICES LC2MOS 8-/16-Channel High Performance Analog Multiplexers. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://static.chipdip.ru/lib/143/DOC000143937.pdf (дата обращения 20.03.2024).

5. Солецкий, В.В., Киба, Д.А., Бородин, М.А. разработка стенда для определения характеристик винтомоторной группы летательного аппарата в различных средах / В.В. Солецкий – Известия Тульского государственного университета – Тула, 2025.

УДК 615.47

Кравец Анастасия Владимировна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kravets Anastasia Vladimirovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kopytov Sergey Mihailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДВОДНОГО ВЫТЯЖЕНИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR UNDERWATER SPINAL EXTENSION

Аннотация. Состояние позвоночника является одним из важнейших факторов, определяющих здоровье человека. В некоторых случаях возможно повреждение межпозвонкового диска с образованием грыжи. Действенным методом лечения является вытяжение позвоночника особенно в водной среде. В работе предложена структура автоматизированного устройства для подводного вытяжения позвоночника. Для улучшения выполнения основной функции дополнительно предусмотрены гидромассаж и хромотерапия.

Abstract. The condition of the spine is one of the most important factors determining human health. In some cases it is possible to damage the intervertebral disk with the formation of a hernia. An effective method of treatment is spinal traction, especially in an aquatic environment. The paper proposes the structure of an automated device for underwater spinal traction. Hydromassage and chromotherapy are additionally provided to improve the performance of the main function.

Ключевые слова: позвоночник, подводное вытяжение, микроконтроллер, датчики, исполнительные устройства.

Key words: spine, underwater traction, microcontroller, sensors, actuators.

Известно, что позвоночник человека является основой опорно-двигательного аппарата [1]. В настоящее время множество людей имеют проблемы с позвоночником. Это свя-

зано с несколькими факторами. Буквально с раннего возраста вместо увлечения играми на свежем воздухе дети в нездоровых позах сидят за гаджетами. Изменения в условиях трудовой деятельности привело к тому, что одни виды труда, связанные с физической активностью, заменили виды без таковой, а в других, наоборот, произошла интенсификация нагрузок сверх меры. Здоровому активному образу жизни ни сверху, ни снизу не уделяют должного внимания. Одним из методов лечения позвоночника является метод его вытяжения (тракция) [2-3]. Особенно полезным считают подводное вытяжение позвоночника. В теплой воде происходит полное расслабление мышц, улучшается кровообращение и питание тканей и органов. В воде также уменьшается гравитационное воздействие на опорно-двигательный аппарат, что способствует более безопасной вытяжке позвоночника. Целью работы является разработка устройства для подводного вытяжения позвоночника, интегрирующего современные и доступные аппаратные решения в данной области.

Механизм лечебного воздействия тракции позвоночника можно пояснить на модели распределения нагрузки механических сил, действующих на межпозвонковый диск (рисунок 1) [5].

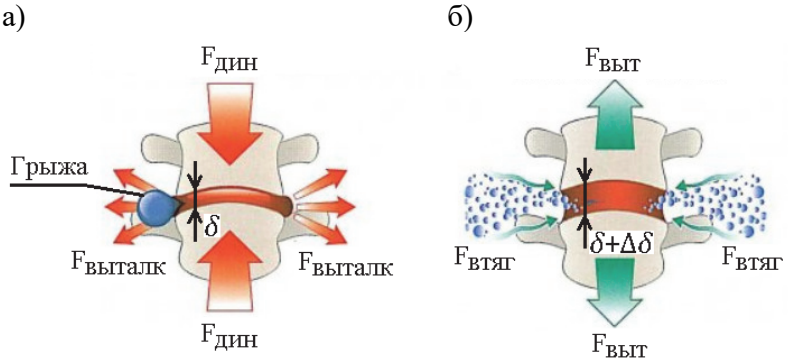


Рисунок 1 – Биомеханическая модель распределения нагрузки механических сил, действующих на межпозвонковый диск: при вертикальном положении в нормальных условиях (а), при подводном вытяжении позвоночника (б)

В некоторых случаях из-за действия динамической силы $F_{дин}$, возникающей при сложении нормальной вертикальной нагрузки и мышечной силы, возможно выпячивание пульпозного ядра межпозвоночного диска, то есть образование грыжи (рисунок 1, а). Щадящим методом лечения является использование вытяжения позвоночника, при котором из-за раздвижения позвонков создается эффект втягивания грыжевого выпячивания, который обладает терапевтическим действием (рисунок 1, б).

Для технической реализации данного механизма используются различные решения. Наиболее действенным считают метод подводного вытяжения. Учитывая современные тенденции в разработке подобных устройств, предложена следующая структурная схема проектируемого устройства (рисунок 2).

Отдельные узлы устройства должны быть размещены на специальной ванне и рядом с ней. Наиболее технологично данную ванну выполнять из прочного пластика (акрила). К ванне должна быть подведена холодная и горячая вода. Безопасность пациента обеспечивается тем, что устройство управления имеет низковольтное питание с трансформаторной развязкой от сети переменного тока. Силовые исполнительные устройства размещены отдельно. Они включаются с помощью электромагнитных реле, обеспечивающих гальваническую развязку от устройства управления.

Работой всего устройства управляет микроконтроллер. Медработник с помощью клавиатуры устанавливает и контролирует на жидкокристаллическом экране следующие параметры процедуры: усилие вытяжения, постоянный или переменный режим вытяжения, температуру воды, спектр хромоизлучения, напор воды для гидромассажа.

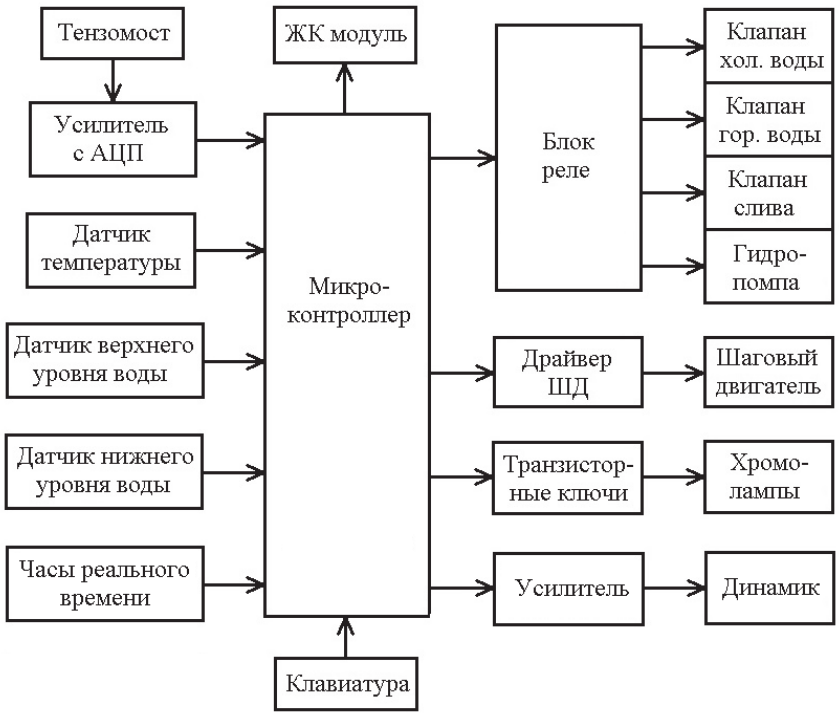


Рисунок 2 – Структурная схема проектируемого устройства

Усилие вытяжения устанавливает шаговый двигатель, перемещая груз с помощью червячной передачи по одному плечу коромысла. Используется принцип рычажных весов для изменения усилия. Измерение силы вытяжения выполняет мостовой тензодатчик, который связывает крайнюю точку плеча коромысла с тросиком натяжения. Тросик проходит через систему блоков и крепится к натяжному поясу пациента. Тензомост обслуживается микроэлектронным усилителем с встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

Микроэлектронный датчик температуры измеряет температуру воды. При необходимости скорректировать температуру микроконтроллер с помощью реле открывает клапан холодной или горячей воды. Датчики верхнего и нижнего уровня воды следят за наполнением ванны. Их показания учитывает микроконтроллер при заливе и сливе воды. Для этого он с помощью реле открывает и закрывает соответствующие клапаны.

Гидропомпа позволяет выполнить массаж пациента с помощью подачи воды под повышенным давлением в гидромассажные форсунки, расположенные внизу ванны напротив спины пациента. Дополнительный положительный эффект при лечении может дать использование хромотерапии. Она успокаивает человека, благотворно влияет при стрессе, при физическом и нервном истощении. Считают, что хромотерапия улучшает циркуляцию крови и гормональный фон, нормализирует обмен веществ, активизирует регенерационные процессы [6]. Принято использовать хромолампы четырех цветов: красного, зеленого, синего и желтого. Для их включения использованы транзисторные ключи.

Время процедуры и ее этапов в соответствии с заданными параметрами устанавливает микроконтроллер. За временем он «следит», считывая показания микросхемы часов реального времени. В случае непредусмотренных ситуаций предусмотрена звуковая сигнализация с помощью усилителя и динамика.

Таким образом, предложена структура устройства для подводного вытяжения позвоночника. В отличие от аналогов всеми функциями устройства управляет микроконтроллер в автоматическом режиме. Помимо основной функции по вытяжению позвоночника предусмотрены дополнительные физиотерапевтические воздействия – гидромассаж и хромотерапия. Эти процедуры положительно влияют на физическое и психоэмоциональное состояние пациента, следовательно, улучшают основной лечебный эффект. Безопасность пациента обеспечивается низковольтным питанием устройства управления и отдельным расположением силовых исполнительных устройств, включение которых осуществляется с помощью электромагнитных реле.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ
1. Позвоночник человека — анатомия. – URL: https://spinelife.ru/pozvonochnik-cheloveka-anatomiya/ (дата обращения: 22.03.2025).
2. Система вытяжения позвоночника при помощи аппаратов подводного или сухого воздействия. – URL: https://pt-med.ru/ozdorovitelnoe_oborudovanie/sistema_vitjagenija_pozvonochnika_pri_pomoshi_apparatov_podvodnogo_ili_suhogo_vozdejstvija/ (дата обращения: 22.03.2025).
3. Акватракцион - комплекс для подводного вытяжения и гидромассажа позвоночника (со встроенным механизмом подъема пациента). – URL: https://eurosmed.ru/products/akvatraktsion---kompleks-dlya-podvodnogo-vytyazheniya-i-gidromassazha-pozvonochnika-so-vstroennym-mehanizmom-podema-patsienta (дата обращения: 22.03.2025).
4. Горизонтальное подводное вытяжение позвоночника и гидромассаж как щадящий метод избавления от болей в спине. – URL: https://www.ormed.ru/pressa/ gorizontalnoe-podvodnoe-vytyazhenie-pozvonochnika-i-gidromassazh-kak-shchadyashchiy-metod-izbavleniya/ (дата обращения: 22.03.2025).
5. Что такое хромотерапия. – URL: https://pt-med.ru/ozdorovitelnoe_oborudovanie/332/ (дата обращения: 22.03.2025).

УДК 669.1
Кривенькая Юлия Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Krivenkaya Yulia Andreevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Кузнецова Ольга Рудольфовна, кандидат экономических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kuznetsova Olga Rudolfovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

К ВОПРОСУ ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ON THE ISSUE OF ENERGY SAVING IN THE METALLURGICAL INDUSTRY

Аннотация. Целью работы является исследование инновационных методов энергосбережения в металлургической отрасли. Подтверждена актуальность изучаемого вопроса. Обозначена роль металлургической отрасли в развитии других отраслей национальной экономики. Рассмотрены возможные подходы к повышению уровня энергосбережения и энергоэффективности производства на металлургических предприятиях. Сделан вывод о необходимости постоянной работы по поиску путей энергосбережения в металлургии.
Abstract. The purpose of the work is to study innovative methods of energy saving in the metallurgical industry. The relevance of the issue under study has been confirmed. The role of the metallurgical industry in the development of other sectors of the national economy is outlined. Possible approaches to increasing the level of energy saving and energy efficiency of production at metallurgical enterprises are considered. It is concluded that there is a need for constant work to find ways to save energy in metallurgy
Ключевые слова: национальная экономика, металлургия, энергосбережение, энергоэффективность, инновации.
Key words: national economy, metallurgy, energy conservation, energy efficiency, innovation.

Современная металлургическая промышленность является одной из самых энергоемких отраслей тяжелой промышленности, поскольку металлургия является основным фактором, способствующим восстановлению промышленного производства. Ряд секторов, таких как строительная инфраструктура, машиностроение и авиационная промышленность, напрямую зависят от объемов производства металлов и сплавов, поэтому развитие данной отрасли играет важную роль [5]. Глобальное увеличение цен на энергетические ресурсы

(рисунок 1), как следствие нестабильной экономики в последнее десятилетие, создаёт значительные трудности для развития, как самой металлургии, так и перечисленных отраслей, даже несмотря на растущую потребность в металлургической продукции.



Рисунок 1 – Динамика стоимости фьючерсного контракта на энергетический уголь

Для выявления возможных закономерностей сравним динамику экономического роста металлургической промышленности с темпами роста стоимости энергетического сырья (рисунок 2). Изучив данные графика, можно сделать вывод, что темпы роста рынка металлургии и динамика стоимости энергетического сырья обратно пропорциональны, иными словами, подтверждается гипотеза о том, что увеличение цен на энергетические ресурсы тормозит развитие металлургии. Поэтому, разработка и внедрение инновационных мероприятий, направленных на энергосбережение, является одним из путей дальнейшего эффективного развития металлургического сектора экономики.

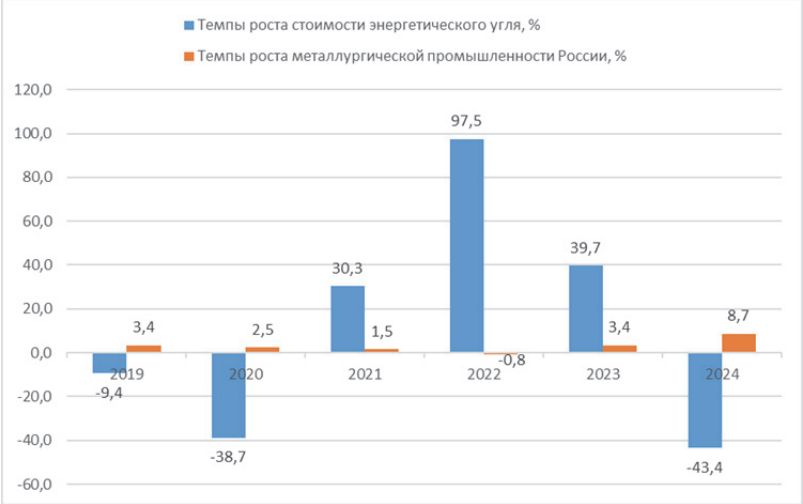


Рисунок 2 – Динамика темпов роста стоимости энергетического угля
и развития металлургической промышленности России

Рассмотрим методы, которые уже применяются для энергосбережения в процессе обработки металлов. Как известно, наиболее распространённый и при этом эффективный метод энергосбережения – бережливый подход к использованию всех имеющихся ресурсов и, при наличии такой возможности, использование вторичного топливного сырья.

Так, в ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина» в последнее десятилетие был выполнен значительный комплекс исследований, позволивших выявить приоритеты в реализации энергосберегающих технологий. Командой учёных-исследователей было определено, что источниками выработки вторичных энергоресурсов на металлургических заводах с полным циклом производства являются: доменные печи, электросталеплавильные печи, а также газогенераторы. В связи с этим к приоритетным энергосберегающим технологиям были отнесены:

- рециклинг доменного газа для доменных печей;
- газификация энергетических углей (использование газогенераторов);

- формирование рудоугольных брикетов с их использованием в доменном и электросталеплавильном производствах.

Приведённые учёными расчеты показывают, что переход на энергосберегающие технологии (рудоугольные брикеты с рециклингом доменного газа и применение генераторного газа – аналога восстановительного газа) обеспечивает снижение себестоимости жидкого чугуна на 30 % (за счёт сокращения материальных и топливноэнергетических ресурсов), сокращение выбросов парниковых газов в атмосферу на 60 % и вредных веществ на 70 % [3]. Но также целесообразно рассмотреть и другие подходы к проблеме энергосбережения на металлургических предприятиях. Одной из альтернатив или дополнительных мероприятий является замена оборудования, преимущественно печей, на более современные. Закономерно, что устаревшие морально и физически изношенные промышленные печи потребляют энергии значительно больше, чем новые, не говоря о более высоких рисках, связанных с износом данного элемента основных средств. Так, специалисты металлургической отрасли оценивают снижение энергоэффективности в пределах от 0,9 до 3,0 % за один год эксплуатации устаревшего оборудования в зависимости от его вида [4]. Поэтому, несмотря на высокие капиталовложения, приобретение нового оборудования потенциально позволит повысить эффект использования энергетических ресурсов в среднем на 1,9 % ежегодно. На рисунке 3 показана сравнительная оценка фактических затрат на сырье в металлургии и теоретическими значениями затрат при гипотетическом обновлении печей на производствах.



Рисунок 3 – Сравнительная оценка затрат на сырье при использовании нового оборудования

Как видно на гистограмме, замена устаревшего оборудования на новое, пусть и несёт в себе существенные капиталовложения в краткосрочном периоде, позволяет в масштабах национального рынка экономить на сырье в районе 200 млрд. р. ежегодно.

Ещё одним методом энергоэффективного производства, потенциально полезным в металлургии, может выступать тепловизионный контроль, также известный как техническое зрение.

Основное назначение тепловизионного контроля – это предоставление персоналу (оператору) качественного изображения оборудования или какого-либо процесса, которое передается в режиме реального времени на пульт управления. Такой контроль осуществляется в тех местах (или того оборудования) где постоянный визуальный контроль невозможен в силу различных объективных причин. Осуществляется такой контроль благодаря использованию специализированного аппаратного средства – тепловизора.

Основные области применения и использования тепловизионного контроля в металлургии это:

- оценка и наблюдение за температурным состоянием стальковшей, промежуточных ковшей и чугуновозов;

- оценка и наблюдение за температурным состоянием различных нагревательных печей;

- оценка и наблюдение за температурным состоянием различных плавильных агрегатов (ДСП, конвертер, индукционные печи и др.) [1].

Использование тепловизионного контроля позволяет предупредить о повышенном износе футеровки в различных зонах и на основе этого спрогнозировать ремонт соответствующей зоны до наступления момента критических энергопотерь [2]. Необходимо отметить, что данный метод носит больше диагностический характер, позволяя вовремя найти «утечки», приводящие к неэффективному использованию энергии и провести ремонт оборудования либо же полностью его заменить. В таком случае, экономический эффект от внедрения данного подхода можно рассматривать как сумму потерь, которых удалось избежать, от теоретического выхода из строя элементов основных средств.

Как известно, развитие новых технологий и получение современных конструкционных материалов во многом определяет научно-технический прогресс и конкурентоспособность экономики. Поскольку металлургия обеспечивает материалом множество других отраслей, среди которых такие важнейшие сектора экономики как строительство, машиностроение, авиационная и космическая промышленность, то повышение эффективности производства в металлургической промышленности окажет фундаментальное положительное воздействие на всю национальную экономику. Именно этим объясняется актуальность и важность поиска и внедрения методов, совершенствующих работу данной важнейшей отрасли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аппаратно - програмный комплекс тепловизионного контроля теплового состояния металлургических агрегатов – Режим доступа http://www.intratool.com.ru /. (дата обращения: 10.03.2025)

2. Практическое применение методов тепловизионного анализа и контроля – Режим доступа http:// www.cyberleninka.ru/article/n/prakticheskoe-primenenie-metodovteplovizionnogo-analiza-i-kontrolya /. (дата обращения: 10.03.2025)

3. Шевелев, Л. Н. Основные направления энергосбережения, повышения энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов в черной металлургии России / Л. Н. Шевелев // Научно-технический прогресс в черной металлургии – 2019 : материалы IV Международной научной конференции; отв. за вып. Н. Л. Балабанова. - 2019. - С. 227-233. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41695494. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей (дата обращения: 10.03.2025).

4. Шенец Е. Л. Оценка энергоэффективности промышленных печей на основе моделирования режимов потребления топлива // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2022. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-energoeffektivnosti-promyshlennyh-pechey-na-osnove-modelirovaniya-rezhimov-potrebleniya-topliva. (дата обращения: 10.03.2025)

5. Ши, В. Исследование методов повышения эффективности производства и контроля затрат в металлургической промышленности / В. Ши // Прогрессивная экономика. - 2024. - № 8. - С. 68-77. – URL: https://elibrary.ru/query_results.asp (дата обращения: 10.03.2025). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

УДК 621.311

Кряжев Александр Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kryazhev Aleksandr Aleksandrovich, student, Komsomolsk- na-Amure State University

Кузьмин Роман Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика, государственный университет

Kuzmin Roman Vyacheslavovich, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Electromechanics, State University

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО УЧАСТКА

DEVELOPMENT OF A POWER SUPPLY SYSTEM FOR A REPAIR AND MAINTENANCE SITE

Аннотация. В рамках нашего проекта, мы произвели расчет кабельной продукции, защитного оборудования, электротехнических шин и силовых панелей. При этом мы учитывали предварительные расчеты токов короткого замыкания и анализ подходящих выключателей, чтобы обеспечить безопасность системы. Оценивается эффективность установки альтернативных источников энергии.
Abstract. As part of our project, we selected cable products, protective equipment, electrical buses and power panels. In doing so, we took into account preliminary calculations of short-circuit currents and an analysis of suitable switches to ensure the safety of the system. The efficiency of installing alternative energy sources is assessed.
Ключевые слова: система электроснабжения, категории потребителей, ремонтно-эксплуатационный участок.
Key words: power supply system, consumer categories, repair and maintenance area.

Системы электроснабжения промышленных предприятий создаются для обеспечения питания электроэнергией промышленных приемников электрической энергии, к которым относятся электродвигатели различных механизмов, электрические печи, электролизные установки, аппараты и машины для электрической сварки, осветительные установки и другие промышленные приемники электроэнергии.

В современной России более 80% электроэнергии потребляется устройствами с напряжением ниже 1000 В. В условиях растущего спроса на высококачественную электроэнергию, оптимизация проектирования систем электроснабжения становится все более актуальной задачей. Критерии качества электроэнергии становятся всё строже, так как потери в линиях электропередачи вызывают повышенное потребление тока, что, в свою очередь, приводит к перегрузкам и дальнейшему падению напряжения в сети.

Проектирование современных систем электроснабжения требует от специалистов решения множества комплексных задач. Одной из главных задач является прогнозирование нагрузок с учетом будущего расширения потребительской сети. Также важно определить оптимальное количество источников питания для обеспечения бесперебойного энергоснабжения. Не менее важным аспектом является рациональное размещение силовых трансформаторов на территории предприятий. Необходимо грамотно подобрать их количество и мощность на всех уровнях системы электроснабжения. Разработчики должны особое внимание уделять вопросам улучшения качества поставляемой электроэнергии, чтобы система соответствовала современным стандартам.

Разработка передовых систем электроснабжения сегодня представляет собой важное направление исследований. Ключевым вызовом в этой области является поиск идеальных параметров питающего напряжения и оптимальных конфигураций сетей электропитания. Стабильность и эффективность проектируемых электроэнергетических систем напрямую зависят от того, насколько успешно будут преодолены эти технические сложности. Исходя из рассчитанных нагрузок, разработана электрическая схема ремонтно-эксплуатационного участка от трансформаторов до щитов на рисунке 1.

Правильное определение электрической нагрузки в узлах силовой сети имеет решающее значение для расчета силовых нагрузок. Если нагрузка будет оценена неправильно, это может привести к ограничению пропускной способности электросети и создать препятствия для нормального функционирования силовых электроприборов. С другой стороны, переоценка нагрузки может повлечь за собой ненужные расходы и увеличение стоимости строительных работ.

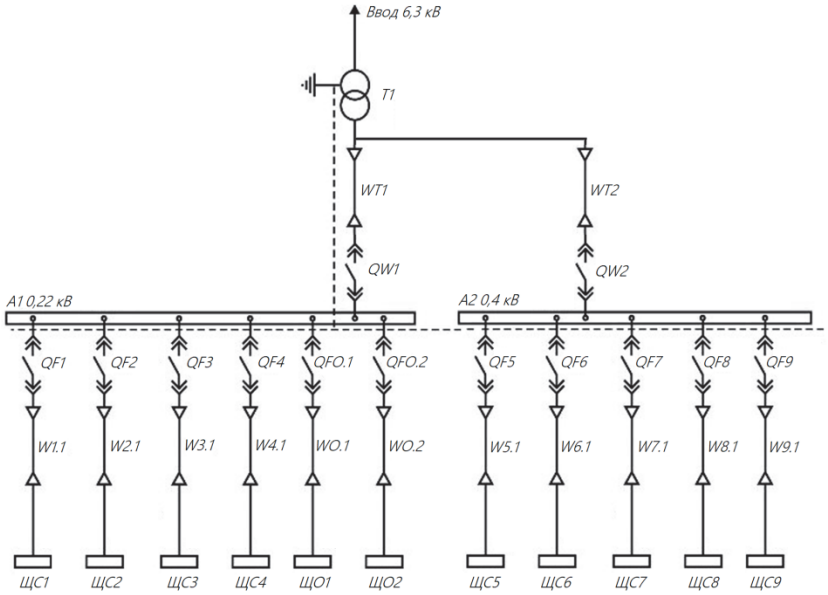


Рисунок 1 – Электрическая схема ремонтно-эксплуатационного участка линий от трансформатора до щитов

В настоящее время основным методом определения электрических нагрузок на промышленных объектах является метод расчета полной нагрузки потребителей. Этот метод учитывает номинальную мощность электроприемников, их количество и характеристики, что позволяет рассчитать расчетную нагрузку для любого узла в схеме электроснабжения.

В качестве примера рассчитаем мощность для линии W1.1, эта линия питает силовой щит ЩС1, в котором подключены фрезерные станки с ЧПУ, их номинальная мощность $P_{\text{ном}} = 6{,}8$ кВт, количество электроприемников $n_э = 4$ штуки. Коэффициент использования K_u и $cos\varphi$ для станков $K_u = 0{,}16$; $cos\varphi = 0{,}8$, $tg\varphi = 1{,}73$.

Определяется суммарная номинальная активная мощность электроприемников, кВт:

$$\sum P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot n_э,$$

$$\sum P_{\text{ном}} = 6{,}8 \cdot 4 = 27{,}6.$$

Определяется сменная активная мощность за наиболее загруженную смену по формуле, кВт:

$$P_{\text{ном}} = K_u \sum_{1}^{n} P_{\text{ном}},$$

где K_u – коэффициент использования; $P_{\text{ном}}$ – общая рабочая мощность группы станков, кВт;

$$P_{\text{см}} = 0{,}16 \cdot 27{,}6 = 4{,}416.$$

Определяется сменная реактивная мощность за наиболее загруженную смену по формуле, кВАр:

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot tg\varphi,$$

$$Q_{\text{см}} = 4{,}416 \cdot 1{,}73 = 7{,}639,$$

Коэффициент максимума $K_{\text{максимум}} = 2{,}4$.

Определяется активная максимальная мощность по формуле, кВт:

$$P_{\text{макс}} = K_{\text{макс}} \cdot P_{\text{см}},$$

$$P_{\text{макс}} = 2{,}4 \cdot 4{,}416 = 9{,}45.$$

Реактивная максимальная мощность при $n_э < 10$ определяется по формуле, кВАр:

$$Q_{\text{макс}} = 1{,}1 \cdot Q_{\text{см}},$$

$$Q_{\text{макс}} = 1{,}1 \cdot 7{,}639 = 8{,}4.$$

Определяется полная максимальная мощность по формуле, кВА:

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{{P_{\text{макс}}}^2 + {Q_{\text{макс}}}^2},$$

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{9{,}45^2 + 8{,}4^2} = 12{,}64.$$

Определяется максимальный ток станков по формуле, А:

$$I_{\text{макс}} = \frac{S_{\text{макс}}}{n_{\text{каб}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}},$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электроприемников, кВ; $n_{\text{каб}}$ – количество кабелей, шт;

$$I_{\text{макс}} = \frac{12{,}64}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 0{,}22} = 33{,}171.$$

Аналогично способом рассчитываются параметры для остальных линий, полученные результаты сводятся в таблицу 1, которая наглядно показывает нагрузку, приходующую на оборудование.

Таблица 1 – Рассчитанные параметры линий электроснабжения

Назначение	$U_{\text{н}}$, В	$P_{\text{макс}}$, кВт	$Q_{\text{макс}}$, кВАр	$S_{\text{макс}}$, кВА	$I_{\text{макс}}$, А
Шина А1	220	49,53	34	58,58	153,732
ЩС1	220	9,45	8,4	12,64	33,17
ЩС2	220	7,2	6,2	9,3	25,1
ЩС3	220	7,2	6,2	9,3	25,1
ЩС4	220	15,6	13,2	18,7	49,2
ЩО1	220	4,32	-	4,32	11,337
ЩО2	220	4,32	-	4,32	11,337
Шина А2	380	155,18	137,58	205,59	311,9
ЩС5	380	10,45	9,12	13,56	20,6
ЩС6	380	102,23	90,26	135,12	195
ЩС7	380	14,7	12,9	20,01	39,2
ЩС8	380	13,6	12,2	18,1	38,1
ЩС9	380	14,2	13,1	19,2	41,32

Выбор марки кабеля осуществлялся с учётом рассчитанного сечения, которое было определено исходя из электрических нагрузок. Для обеспечения безопасности оборудования были подобраны автоматические выключатели различных типов, соответствующие расчетным значениям максимального тока в линии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Князевский, Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин.– Москва : Высшая школа, 2019. – 400 с.

2. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети / Под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. − 2-е изд., перераб. и доп. − Москва : Энергия, 2020. – 576 с.

3. Электротехнический справочник: в 3-х т. / Под общ. ред. профессоров МЭНгл. ред. И.Н. Орлов [и др.].// Т.2. Электротехнические изделия и устройства − 7-е изд., испр. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 2021. – Т.2 − 712 с.

4. Электротехнический справочник: в 3-х т. / Под общей ред. профессоров МЭН Орлов И.Н. [и др.].// Кн. 1. Производство и распределение электрической энергии − 7-е изд., испр. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 2023. – Т.3 – 880 с.

УДК 621.317

Кужель Алексей Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuzhel Alexey Alexandrovich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Марущенко Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Marushchenko Sergey Grigorevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor “Industrial electronic and innovative electronic”, Komsomolsk-na-Amure State University

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ АНАЛОГОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ «ANADIGM»

CONSTRUCTING ELECTRONIC DEVICES BY USING FILD PROGRAMMABLE ANALOG ARRAYS «ANADIGM»

Аннотация. Целью работы является изучение инструментов и способов разработки электронных устройств с использованием программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС) серии «Anadigm». В статье рассматриваются типы микросхем «Anadigm» и принцип их работы. Показан пример проектирования аналогового контроллера широтно-импульсной модуляции (ШИМ), управляемого сигналом постоянного напряжения в системе автоматизированного проектирования (САПР) Anadigm Designer2. Результатом проектирования является файл конфигурации ПАИС, полученный в результате компиляции проекта и симуляция записи файла в микросхему. В заключении приводится сравнительный анализ, представленных на рынке ПАИС, отмечены их преимущества и недостатки.
Abstract. The aim of the work is to study the tools and methods for developing electronic devices using field programmable analog arrays (FPAA) of the «Anadigm» series. The article considers the types of «Anadigm» microcircuits and their operating principle. An example of designing an analog pulse-width modulation (PWM) controller controlled by a DC voltage signal in the Anadigm Designer2 computer-aided design (CAD) system is shown. The design result is a FPAA configuration file obtained as a result of compiling the project and simulating writing the file to the microcircuit. In conclusion, a comparative analysis of FPAA presented on the market is given, their advantages and disadvantages are noted.
Ключевые слова: ПАИС, САПР Anadigm Designer2, ШИМ-контроллер, SPI-интерфейс.
Key words: FPAA, CAD Anadigm Designer2, PWM-controller, SPI.

Инженеры, занимающиеся аналоговой схемотехникой, такой как силовая электроника, радиотехника, электроника для аналоговой обработки сигналов, тратят много времени на разработку и изготовление таких схем. Не многие знают, что сложные аналоговые цепи можно собрать всего на одной микросхеме - ПАИС. В качестве базовых элементов в ней, выбраны операционные усилители с переключаемыми конденсаторами в цепях обратных связей. Хотя и существуют аналоговые матрицы, оперирующие транзисторами, но схема с операционными усилителями более универсальна и не требует большой разновидности их под все параметры, как в случае с транзисторами.

Цепь обратной связи на переключаемых конденсаторах состоит из ключа (обычно это полевой транзистор) и конденсатора. Заряд, накопленный на конденсаторе, может подаваться в цепь с разной интенсивностью в зависимости, от скорости коммутации ключа. Этот ключ играет роль настраиваемого сопротивления. Такой схемой в цепи обратной связи можно создать линейность и нелинейность, если включать его по какому-то заранее предопределённому закону. Таким образом, на основе базовой ячейки можно реализовать различные аналоговые функциональные узлы, программируя ключи и обратные связи в специальной программе САПР Anadigm Designer2.

Рассмотрим программируемые аналоговые микросхемы серии «Anadigm», как наиболее «гибкие», простые в обслуживании и программировании [1]. Они выпускаются в виде комплекта на отладочных платах, содержащих от одной до четырёх микросхем, а также в виде отдельных микросхем для поверхностного монтажа, в корпусах типа QFP 44 и QFN 44. Вид таких отладочных плат приведен на рисунке 1.

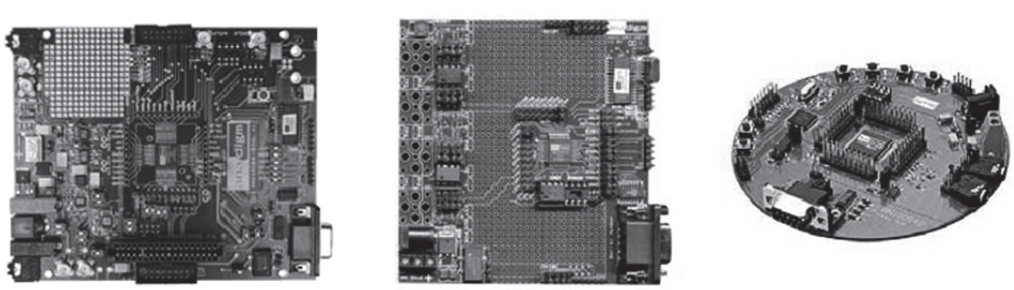


Рисунок 1 – Типы отладочных плат для микросхем «Anadigm»

Внутренняя структура микросхемы содержит 4 основных блока с одним операционным усилителем в каждом и блоки входов и выходов, в которых находятся встроенные активные фильтры и мультиплексоры. Каждый основной блок с операционным усилителем может реализовать множество аналоговых схем: сумматор, инвертор, дифференциатор, интегратор, преобразователь тока в напряжение, делитель, умножитель и др. [1]. Эта способность конфигурации аналоговой схемы в блоке операционного усилителя реализуется благодаря переключаемым конденсаторам в его обратных связях и КМОП транзисторам, устанавливающим связи между блоками, аналогично матрицы соединений в ПЛИС [2].

Проект аналоговой схемы для ПАИС можно разработать и запрограммировать с помощью специальной САПР Anadigm Designer2, где его можно отладить с помощью имитаторов внешних сигналов и осциллографа. Полученный после компиляции проекта код необходимо загрузить в микросхему ПАИС по SPI или UART интерфейсу с компьютера, контроллера или ПЗУ EEPROM [2].

Разберёмся, как на базе ПАИС проектируются аналоговые устройства. Например, нам необходимо разработать ШИМ-модулятор, управляемый сигналом постоянного напряжения от 0 – 1 В. Уровень выходного сигнала должен составлять 3 вольта. Необходимо отметить, что используемая микросхема может оперировать сигналами уровни, которых не превышают ±3 вольта. Сигналом постоянного уровня в диапазоне 0 – 3 вольта мы будем задавать скважность сигнала ШИМ от 0 до 100%. Для формирования опорного сигнала в виде треугольных импульсов воспользуемся собственным генератором колебаний микросхемы ПАИС.

В программе вызовем одну микросхему ПАИС необходимого типа. Нажимая правой кнопкой мыши внутри микросхемы, можно выбрать пункт «insert CAM» и вставить разные устройства. Для реализации проекта нам потребуется:

- генератор сигналов (из которого мы выберем треугольный 0-1 вольт);
- симулятор внешнего постоянного сигнала, например 0.75 вольт;
- компаратор, выдающий сигнал в диапазоне от -2 до 2 вольт;
- инвертирующий сумматор, чтобы поднять уровень сигнала относительно «земли»;
- инвертор, чтобы получить на выходе импульсы ШИМ положительной полярности.

Результирующая схема изображена на рисунке 2.

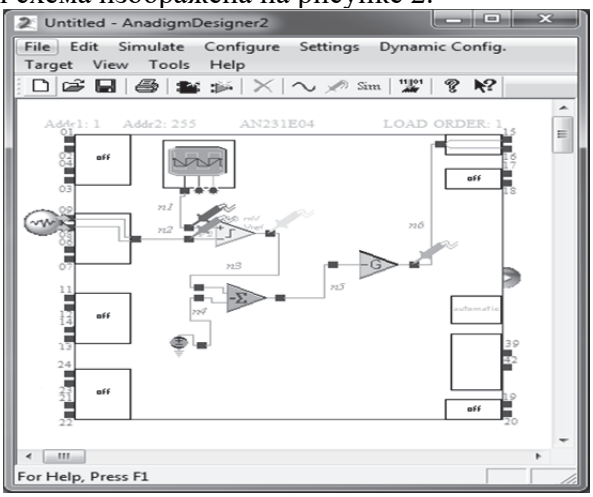


Рисунок 2 – Схема ШИМ-контроллера в Anadigm Designer2

Используемая САПР позволяет осуществить моделирование работы проектируемой схемы. Результаты моделирования отображены на рисунке 3.

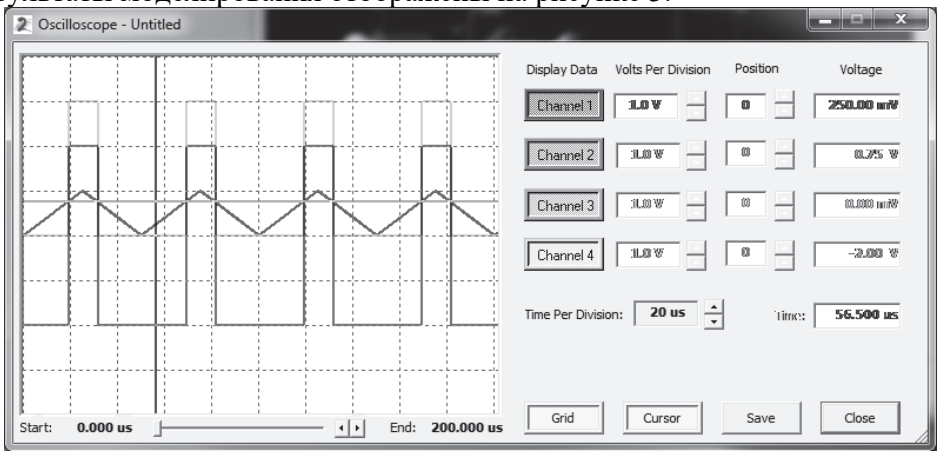


Рисунок 3 – Результаты моделирования работы ШИМ-контроллера

На рисунке 3 видно, что входной управляющий сигнал постоянного напряжения (горизонтальная прямая линия), сравнивается с треугольным опорным сигналом на компараторе, в результате чего получается сигнал в виде двуполярных прямоугольных импульсов (нижняя осциллограмма). Полученный сигнал необходимо преобразовать в униполярный. Для этого смещаем уровень сигнала на +2 вольта инвертирующим сумматором, а затем инвертируем еще раз для восстановления полярности после сумматора. В результате получаем импульсы на выходе ШИМ-модулятора (верхняя осциллограмма).

После синтеза схемы выполним компиляцию проекта и попытаемся сохранить файл на диск для последующей записи его в ПАИС. Активируем опцию «configure» - «write configuration to a file», как показано на рисунке 4 и выберем сохранить как *.ahf . Эти байты данных нам нужно будет передать по SPI протоколу, чтобы запрограммировать непосредственно микросхему ПАИС.

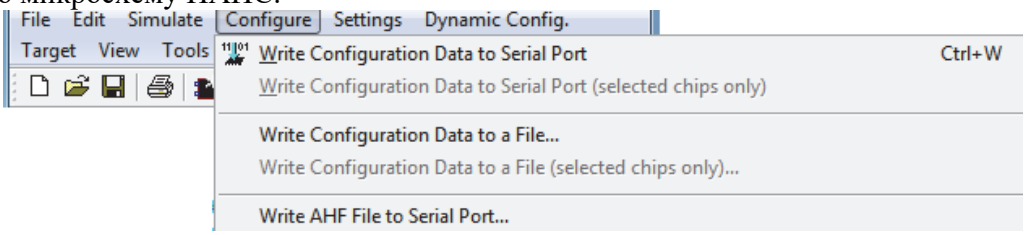


Рисунок 4 – Активация опции «сохранения прошивки»

Для программирования конфигурации микросхемы ПАИС, ее необходимо подключить к микроконтроллеру по схеме, изображенной на рисунке 5. В рассматриваемой микросхеме ПАИС используется конфигурационное ЭСПЗУ, поэтому постоянного внутрисхемного программирования не требуется.

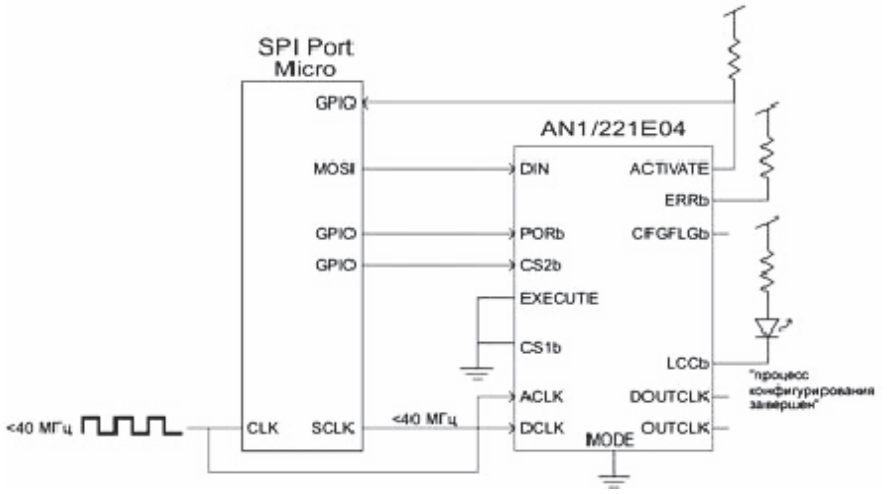


Рисунок 5 – Типовая схема подключения ПАИС Anadigm AN221E04 к контроллеру

Самыми подходящими устройствами ПАИС для пользователя в наше время являются ispPAC10 из-за их простоты программирования и дешевизны (800 руб.), но они недостаточно гибки в настройке, так как базируются на наборе конденсаторов и сопротивлений. Следующие по удобству идут микросхемы Anadigm (Motorolla) первого поколения AN10E40 и MPAA020 они гибки в настройке и имеют 20 операционных усилителей, но они дороже по цене (5000 руб.). Замыкают тройку лидеров микросхемы Anadigm третьего поколения AN231E04, они чрезвычайно гибки в настройке, но имеют всего четыре операционных усилителя, достаточно дороги (2000 руб.) и очень маленькие в размере. Все ПАИС могут быть запрограммированы наглядным образом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Полищук А. Система автоматизированного проектирования программируемых аналоговых интегральных схем AnadigmDesigner2. Часть 1.Первый шаг: знакомство с интерфейсом //Компоненты и технологии. 2005. № 5. http://kit-e.ru/articles/plis/2005_5_162.php

2. Кулапин В.И., Князьков А.В., Маньков А.М. Использование программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС) в составе устройства для измерения проводимости кондуктометрического датчика. 2012. http://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-programmiruemyh-analogovyh-integralnyh-shem-pais-v-sostave-ustroystva-dlya-izmereniya-provodimosti

3. Мишин Г.Т. Естественно-научные основания аналоговой микроэлектроники / Г.Т. Мишин – Москва . «МИЭМ», 2003 - 482с.

УДК 004.896

Кучерова Алина Игоревна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kucherova Alina Igorevna, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Ворощенко Василий Даниилович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Voroschenko Vasily Danilovich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

STUDY OF THE POSSIBILITY OF INCREASING THE EFFICIENCY OF INTEGRATION OF ROBOTIC COMPLEXES INTO THE PRODUCTION PROCESSES OF THE ENTERPRISE

Аннотация. В статье исследуются проблемы интеграции инновационных технологий в производственные системы робототехнических комплексов на промышленных предприятиях. На основе анализа организационно-технологических процессов предприятия выявлены ключевые проблемы. В качестве решения предлагается разработка цифровых двойников на основе мультиагентного моделирования в среде MATLAB, позволяющих оптимизировать интеграцию новых технологий, минимизировать простои и улучшить взаимодействие между автоматизированными системами управления. Приведена блок-схема типового организационно-технологического процесса, демонстрирующая применение предложенного подхода.

Abstract. The article examines the problems of integrating innovative technologies into production systems of industrial enterprises using robotic complexes. Based on the analysis of the enterprise's organizational and technological processes, key problems have been identified. The proposed solution is to develop digital twins based on multi-agent modeling in the MATLAB environment, which allows optimizing the integration of new technologies, minimizing downtime, and improving interaction between automated control systems. A block diagram of a typical organiza-

tional and technological process is provided, demonstrating the application of the proposed approach.
Ключевые слова: автоматизация, интеграция инноваций, робототехника, дискретно-событийное моделирование, мультиагентные системы, цифровой двойник.
Key words: automation, integration of innovations, robotics, discrete event modeling, multi-agent systems, digital twin.

Промышленные предприятия составляют основу экономики любой страны, обеспечивая необходимой продукцией, созданием рабочих мест и технологическим развитием. В России промышленная отрасль, особенно авиастроение, играет ключевую роль в поддержке экономической стабильности и национальной безопасности. В условиях глобальной конкуренции и стремительного технологического прогресса, предприятиям необходимо постоянно модернизировать производственные процессы, внедряя инновационные технологии. Внедрение инноваций на производство сопровождается возникающими проблемами, что приводит к снижению производительности предприятия.

Для предотвращения возникающих проблем необходимо поддерживать процессы постоянного мониторинга. Необходимо проанализировать промышленное предприятие, для выявления недостатков организационно-технологических систем и выработки вариантов решений.

На промышленных предприятиях производственные процессы реализуются под управлением автоматизированных систем:

- автоматизированная система управления производством (АСУП) - обеспечивающая координацию деятельности предприятия в целом;
- автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП) - осуществляющая непосредственный контроль за производственными операциями. Исследования, подтверждающие актуальность внедрения автоматизированных систем в производство описаны в работах [1; 2].

Поскольку на предприятиях производится высокотехнологическая продукция, то однозначно на таких предприятиях существуют инновационные процессы. Они очень часто связанны именно с необходимостью внедрения на предприятие новой техники или оборудования, либо инновационных технологий. Контролировать стабильные бизнес-процессы в виде производства и управлять качеством инновационных процессов представляется сложным, так как это конфликтующие между собой задачи. Внедрение инновационных решений вносит перестройку в стабильном, годами отстроенном технологическом процессе. Но если с течением времени, предприятие не будет модернизироваться, путем внедрения инновационных решений на предприятие, то произойдёт стагнация, что приведет организацию к закрытию. Анализ современных предприятий показывает, что не всегда есть отлаженные интеграционные связи между автоматизированными системами управления производственными процессами (АСУПП) и подсистемами в виде АСУТП, в частности это прослеживается в технологических процессах по внедрению робототехники, где работа с оборудованием нуждается в компетентности персонала и агрегации технологий. Проблемой неэффективной интеграции инноваций в производство чаще является не обладающий рядом компетенций для работы с новой технологией персонал, оборудование, в работе с которым необходимы дополнительные знания в новой области и отсутствие эффективных моделей, подразумевающих комплекс организационно-технологических решений, обеспечивающих успешную интеграцию инноваций. Из-за серьезной степени автоматизации, при возникновении проблем на автоматизированном производстве, роботизированный участок технологического процесса может прекратить свою деятельность, чаще всего на долгое время, приводя к экономическим потерям, что снижает конкурентоспособность предприятия.

Проблемы, которые ведут к медленной работе или полной остановке производственного участка:

1. Кадровые ограничения в работе с робототехникой. Во избежание производственных потерь, персонал обучают либо не в полном объеме, либо меньше необходимого количества, что приводит к проблемам, при отсутствии этого человека на производстве. Также

отсутствие на предприятиях персонала, отвечающего, непосредственно за робототехнику, который должен полностью быть компетентен в устройстве робота, так как техническая система робота значительно отличается от машин, управляемых человеком.

2. Отсутствие полной документации. Робототехническое оборудование производят в иностранных государствах, соответственно, документация по эксплуатации оборудования, чаще на иностранном языке, что ведет к некорректному переводу этой документации.

3. Отсутствие проработанных моделей организационно-технологической адаптации к существующим производственным процессам. Наличие хорошо структурированных и эффективно функционирующих моделей данного класса могло бы компенсировать указанные выше проблемы, обеспечив понятный интерфейс взаимодействия для производственного персонала без необходимости глубокого понимания принципов работы высокотехнологического оборудования. Еще одним пунктом в анализе роботизированного производственного процесса является присутствие в одной автоматизированной ячейке одновременно несколько видов технологического оборудования, которое необходимо интегрировать и сочетать. Чаще всего документация ко всей системе отсутствует, либо разрознена. Для объединения в единый документ по эксплуатации системы, необходимо компетентность сотрудника, который углублен в специфику работы роботизированной системы.

Для решения данных проблем необходимо организовать внедрение интеграционные связей, за счет разработки эффективных моделей, позволяющих упростить процесс работы данной автоматизированной системы. Для этого необходимо спроектировать цифровой двойник, с помощью мультиагентного моделирования, который будет включать в себя динамические модули, представляющие собой агенты, блок-схема типового организационно-технологического процесса представлена на рисунке 1.

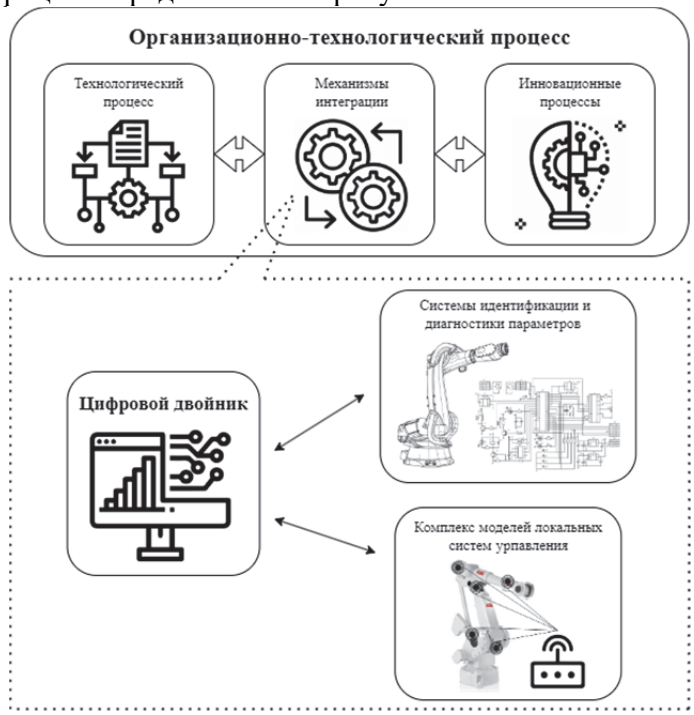


Рисунок 1 – Блок-схема типового организационно-технологического процесса промышленного предприятия

Актуальность использования технологии цифровых двойников в разработке систем управления подтверждается работой [3], а разработка технологических процессов на базе агентных моделей в работе [4]. Среди множества вариантов программного обеспечения (ПО), поддерживающих принципы дискретно-событийного моделирования, можно выделить ПО MATLAB в связи с расширенным математическим аппаратом и наличием мощной среды симуляции. Цифровые модели позволят обеспечить лучшую интеграцию технологических процессов в общую систему предприятия, обеспечить сокращение негативных последствий, приводящим к конфликтным связям инновационных и производственных систем. Также позволит поддерживать жизненный цикл продукции на должном уровне на

протяжении определенно заданного времени. Модернизация производства сопровождается проблемами, включая недостаточную квалификацию персонала, недостаток документации в полном объеме, использование низкоэффективных моделей. Эти факторы приводят к снижению производительности, простоям и экономическим потерям, что в долгосрочной перспективе угрожает конкурентоспособности предприятия. Использование цифровых двойников на базе мультиагентной системы позволит минимизировать риски при интеграции инноваций, улучшить взаимодействие между подсистемами предприятия и поддержать стабильность производства. Реализация этих мер поспособствует не только повышению операционной эффективности, но и долгосрочному развитию предприятия в условиях быстро меняющихся технологических требований.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-71-10093) [5].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Калинина, О. А. Исследование тенденций развития сквозных цифровых технологий и наукоемких предприятий / О. А. Калинина // Будущее машиностроения России: Сборник докладов Четырнадцатой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. В 2-х томах, Москва, 21–24 сентября 2021 года. Том 2. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2022. – С. 358–361. – EDN UOVIMP.

2. Алехина, И. П. Влияние автоматизации и роботизации производства в промышленных предприятиях Российской Федерации / И. П. Алехина // Современные методы, модели и технологии управления социально-экономическими системами: Материалы научно-практической конференции, Калуга, 08 декабря 2022 года. – Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Изд-во "Эйдос"), 2023. – С. 6-14. – EDN ESLRAV.

3. Горькавый, М.А. Разработка архитектуры системы управления роботизированным производственным процессом на базе технологии цифрового двойника / М. А. Горькавый, В. П. Егорова, В. А. Соловьев [и др.] // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 1(65). – С. 40-46. – DOI 10.17084/20764359-2023-65-40. – EDN RXYBAH.

4. Ворощенко, В. Д. Интеллектуальный модуль оптимизации и управления эффективностью производственного процесса на базе агентной имитационной модели / В. Д. Ворощенко, В. П. Егорова, М. А. Горькавый // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 1(65). – С. 85-93. – DOI 10.17084/20764359-2023-65-85. – EDN GLSMPA.

5. Разработка и синтез перспективных мультимодальных адаптивных алгоритмов и методов управления поведением коллаборативных робототехнических систем с учетом нештатных ситуаций и экстремальных условий в недетерминированной среде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rscf.ru/project/22-71-10093/.

УДК 62-503.57

Лакеев Илья Юрьевич, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lakeev Ilya Yuryevich, master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

Стельмащук Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Stelmashchuk Sergey Valerevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Electric drive and automation of production plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА НАБЛЮДАТЕЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ МОМЕНТА УПРУГОСТИ В МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

DEVELOPMENT OF AN OBSERVER FOR ASSESSING THE ELASTIC MOMENT IN THE MECHANICAL PART OF AN ELECTRIC DRIVE

Аннотация. Целью работы является определение величины момента упругости в режиме реального времени для систем электропривода с упругими связями элементов кинематической цепи. В статье предложен метод расчета наблюдающего устройства за координатой момента упругости, в системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» при скалярном управлении. Приведена структурная схема наблюдателя и расчет его коэффициентов.
Abstract. The aim of the work was to determine the value of the elastic moment in real time for electric drive systems with elastic connections of kinematic chain elements. The article proposes a method for calculating the observing device for the coordinate of the elastic moment in the «frequency converter – asynchronous motor» system with a scalar control method. A structural diagram of the observer circuit and calculation of its coefficients are given.
Ключевые слова: Момент упругости, коэффициент упругости, механическая часть привода, наблюдающее устройство, частотный электропривод
Key words: Moment of elasticity, coefficient of elasticity, mechanical part of the drive, observing device, frequency electric drive

Момент упругости возникает из-за деформации тела и стремится вернуть его в начальное состояние. Это объясняется тем, что физические свойства металлов, а именно механическая жёсткость и прочность обладают конечными значениями. Разрушение рабочего органа (РО) осуществляется из-за больших деформаций в конструкции РО. При вращательном движении момент упругости возникает в результате деформации тела при кручении и зависит от углов поворота гибкого РО на его концах [1]. Чем больше разность между этими углами, тем больше момент упругости, и, следовательно, выше вероятность к поломке у конструкции РО. Контроль упругих моментов является важной задачей при проектировании и работе механизмов. Не допускается, чтобы они достигали огромных пиковых значений при переходных процессах. Для контроля момента упругости в статье рассматривается редуцированный расширенный поднаблюдатель, где наблюдаемыми координатами являются момент и скорость двигателя, а момент упругости является ненаблюдаемой расширенной координатой, значение которой оценивается. Так как наблюдатель работает с механической частью электропривода, то тип используемого электродвигателя не является важным. Для работы наблюдающему устройству необходима информация о состоянии электромагнитного момента двигателя и состояние скорости вращения вала.

Расчетная кинематическая система имеет вид, рисунок 1.

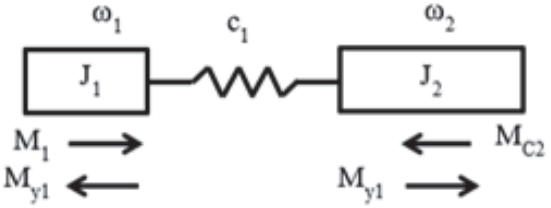


Рисунок 1 – Расчетная схема для двухмассовой системы с упругими связями

Структурная схема механической части на основе данной расчетной схемы, а также структурная схема наблюдателя момента упругости приведены на рисунке 2.

На рисунке 2 наблюдающее устройство настраивается на биноминальную форму:

$$L1 = 3\omega_{01}; \quad L2 = 3\omega_{01}^2; \quad L3 = -J_1\omega_{01}^3,$$

где $L1$, $L2$, $L3$ – коэффициенты наблюдающего устройства; ω_{01} – среднегеометрический корень наблюдателя, определяющий быстродействие наблюдателя, должен быть намного больше быстродействия механической части привода.

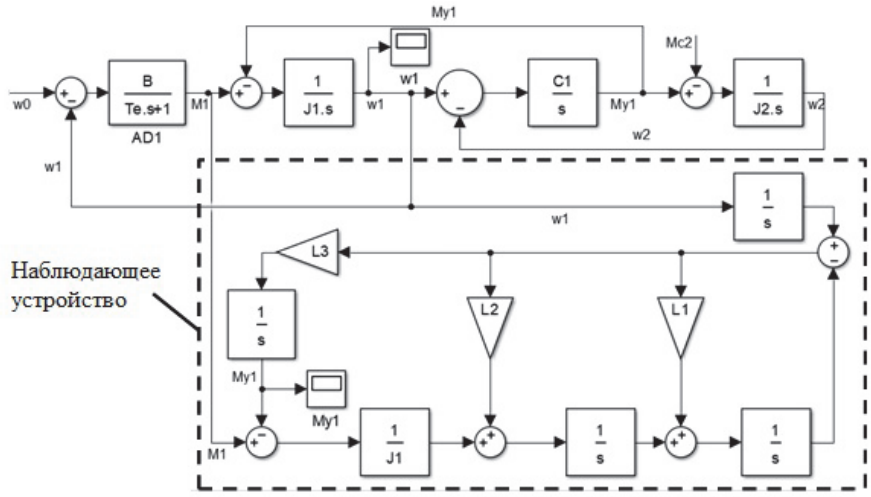


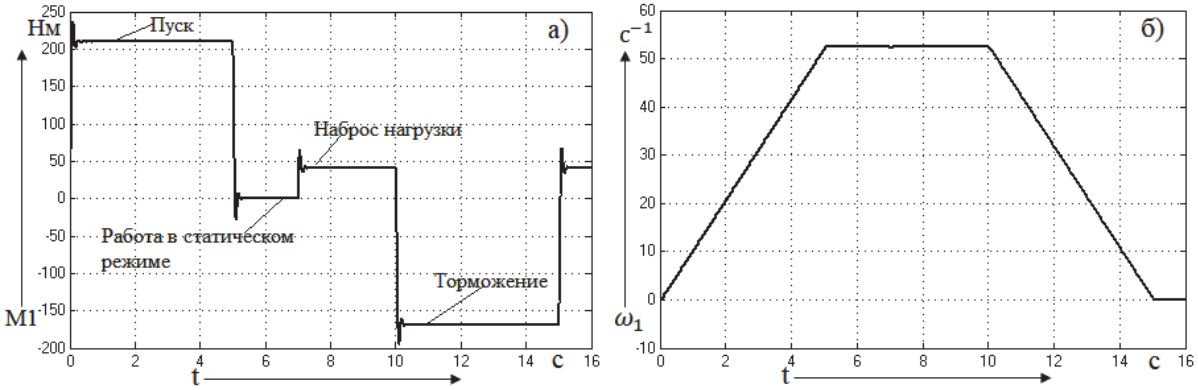
Рисунок 2 – Структурная схема, набранная в MATLAB

Структурная схема системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» при скалярном управлении более подробно рассмотрена в [2; 3]. Имитационное моделирование упруго-вязких связей между массами механической части привода рассмотрены в [4].

Результаты моделирования

При подаче на вход трапециевидного сигнала задания и набросе нагрузки в момент времени 7 с, графики переходных процессов системы имеют следующий вид.

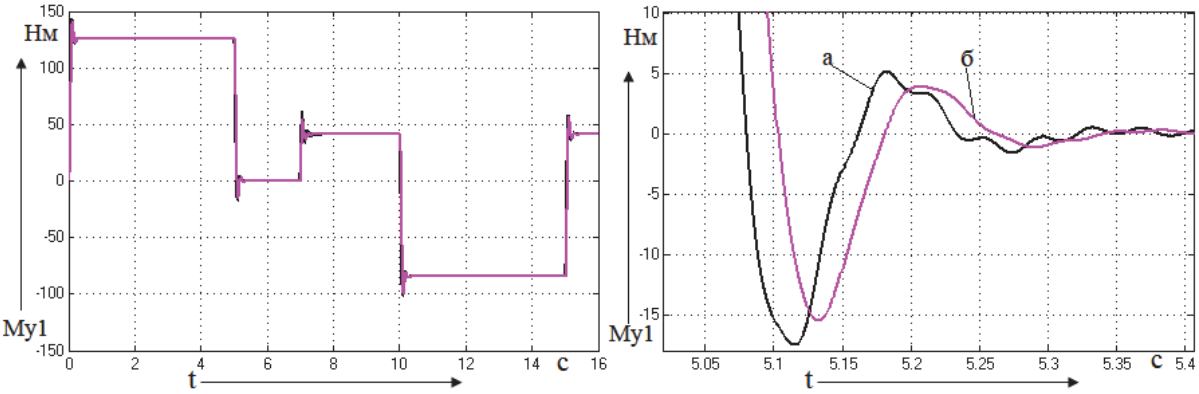
Для электромагнитного момента (а) и скорости ротора (б), рисунок 3. Сравнение момента упругости и его оценки на выходе наблюдателя, рисунок 4.



а - электромагнитный момент; б - скорость ротора

Рисунок 3 – Графики переходных процессов момента и скорости двигателя

Для момента упругости реального (а) и оценённого наблюдателем (б), рисунок 4.



а – момент упругости; б - момент упругости с наблюдателя

Рисунок 4 – Графики переходных процессов момента упругости и его оценки

Построено наблюдающее устройство момента упругости между ротором двигателя и рабочим органом, по результатам моделирования можно сделать вывод об удовлетворительном качестве оценки координаты момента упругости и возможности применения

наблюдателя на практике. Данный наблюдатель также может использоваться в электроприводе с векторным управлением [5]. Использование информации о величине момента упругости в законе управления позволяет спроектировать систему управления электропривода с идентификацией коэффициента упругости механической части электропривода и построить адаптивную систему электропривода, что повысит технико-экономические показатели оборудования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Разработка электромеханической системы с резкопеременной нагрузкой / В. А. Дружинин, Х. Х. Азимов, И. К. Андрианов [и др.] // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2024. – № 1(73). – С. 47-58. – EDN EGFZUQ.

2. Чернышев, А. Ю. Электропривод переменного тока: Учебное пособие / Чернышев А.Ю., Дементьев Ю.Н., Чернышев И.А., - 2-е изд. – Томск : Изд-во Томского политех. университета, 2015. – 210 с.: ISBN 978-5-4387-0556-7.

3. Стельмащук, С. В. Система подчиненного управления скалярным частотно-регулируемым многодвигательным электроприводом с независимым соединением асинхронных двигателей / С. В. Стельмащук, И. Ю. Лакеев // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2023. – № VII (71). – С. 57-65– DOI: 10.17084/20764359-2023-71-57. – EDN RFNQDD.

4. Стельмащук, С. В. Имитационное моделирование упруго-вязких элементов в механической части электропривода / С. В. Стельмащук, А. И. Пудов // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 05–11 декабря 2022 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 80-82. – EDN VLGJVX.

5. Мурзин, Е. К. Имитационная модель асинхронного частотного электропривода с векторным управлением в среде SIMINTECH / Е. К. Мурзин, С. В. Стельмащук // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 208-210. – EDN FNNGFC.

УДК 621.38

Локтионов Григорий Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Loktionov Grigory Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kopytov Sergey Mihailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХКАНАЛЬНОГО ЦАП TLV5618 С ИНТЕРФЕЙСОМ SPI В СРЕДЕ LABVIEW LINX

FEATURES OF USING THE TLV5618 DUAL-CHANNEL SPI INTERFACE IN LABVIEW LINX ENVIRONMENT

Аннотация. Выпускаемые микроконтроллеры, как правило, имеют встроенный АЦП, но не содержат ЦАП. Однако задача формирования аналогового сигнала весьма актуальна. В публикации подробно рассмотрен двухканальный микроэлектронный ЦАП с SPI интерфейсом TLV5618. Разработана программа в графической среде LabVIEW для его использо-

вания совместно с контроллером Ардуино. Она может служить основой для применения преобразователя совместно с другими встраиваемыми платформами.

Abstract. Produced microcontrollers, as a rule, have a built-in ADC, but do not contain a DAC. However, the task of analog signal generation is very actual. In the publication the two-channel microelectronic DAC with SPI in-interface TLV5618 is considered in detail. A program in the graphical environment LabVIEW for its use together with the Arduino controller is developed. It can serve as a basis for using the converter together with other embedded platforms.

Ключевые слова: ЦАП, SPI, микроконтроллер, LabVIEW, LINX, блок-диаграмма.
Key words: DAC, SPI, microcontroller, LabVIEW, LINX, block diagram.

Большинство микроконтроллеров обычно имеют встроенный аналого-цифровой преобразователь для ввода значений аналоговых сигналов. В то же время встроенный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) встречается довольно редко. Однако в некоторых применениях необходимо получить на выходе именно аналоговый сигнал. Частично решить данную проблему помогает использование канала ШИМ с подключенным фильтром нижних частот. Однако у такого решения имеются очевидные минусы: недостаточная разрядность, инерционность формирования выходного сигнала, низкая точность вследствие использования логического уровня в качестве опорного. Поэтому использование внешнего ЦАП с требуемой разрядностью и быстродействием является оптимальным решением.

Ранее широко использовались микроэлектронные ЦАП с параллельным интерфейсом. В настоящее время их применяют лишь при формировании высокочастотных аналоговых сигналов. В связи с развитием микроэлектроники на первый план вышли преобразователи с последовательными интерфейсами, которые более дешевые и компактные. Наибольшее распространение получило использование I2C и SPI интерфейсов [1].

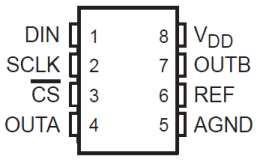
Интерфейс I2C требует для связи большего числа пересылок, а его тактовая частота ограничена в большинстве случаев стандартными значениями 100 и 400 кГц. Интерфейс SPI более лаконичен в числе пересылок, а частоту тактирования устанавливает ведущий микроконтроллер исходя из частотных свойств ведомого устройства. Поэтому для связи с высокочастотными преобразователями используют именно SPI интерфейс.

Гибким и удобным средством для разработки измерительных и управляющих систем является интегрированная среда разработки LabVIEW [2]. В ней можно разрабатывать программное обеспечение как для дорогих специализированных приборов, так и для доступных встраиваемых микроконтроллерных устройств на базе контроллера Ардуино, миникомпьютера Raspberry Pi и некоторых других.

Цель работы заключается в разработке программного обеспечения на графическом языке LabVIEW для связи встраиваемого микроконтроллерного устройства с двухканальным ЦАП, имеющим SPI интерфейс.

Одним из представителей ЦАП с SPI интерфейсом является микросхема TLV5618A (рисунок 1) [3].

а) б)



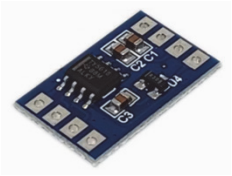


Рисунок 1 – Разводка микросхемы TLV5618A (а) и модуль на ее основе (б)

Назначение выводов следующее: AGND – аналоговая земля, CS - выбор микросхемы, DIN - цифровой вход последовательных данных, OUTA - выход аналогового напряжения канала A, OUTB - выход аналогового напряжения канала B, REF - вход опорного напряжения, SCLK - вход тактирования, VDD - напряжение питания.

Внутренняя функциональная схема данной микросхемы приведена на рисунке 2.

ЦАП является 12-разрядным. Он содержит два канала OUTA и OUTB для вывода аналогового напряжения. Входные цифровые данные могут быть записаны в три регистра:

в регистр канала A (Register A), в регистр канала B (Register B) и в буферный регистр (Buffer). Буферный регистр используется для того, чтобы иметь возможность одновременного вывода значений сигнала сразу через оба канала. Для этого значение сигнала для канала B сначала записывается в буферный регистр. Затем при записи нового значения сигнала в регистр канала A одновременно сигнал из буфера поступает в регистр канала B.

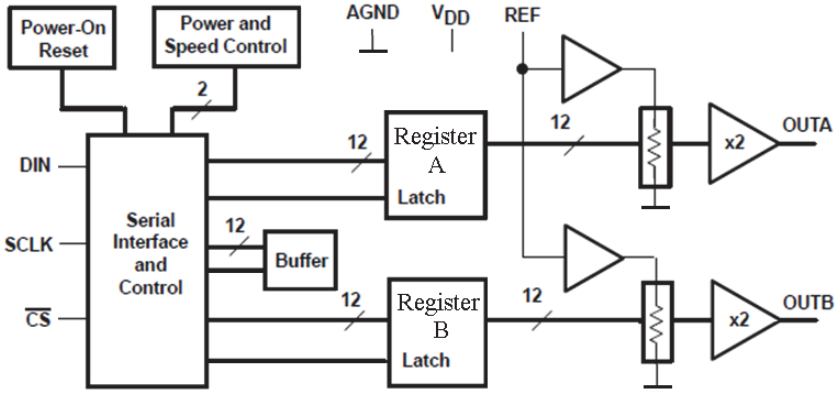


Рисунок 2 – Функциональная схема TLV5618A

Особенностью преобразователя является также наличие выходного усилителя, имеющего коэффициент усиления по напряжению 2, который на схеме обозначен «x2». Тогда выходное напряжение соответствует следующему выражению [3]

$$U_{\text{ВЫХ}} = 2 \cdot U_{REF} \cdot \frac{CODE}{2^n}, \quad (1)$$

где U_{REF} – опорное напряжение, $CODE$ – 12-разрядные входные данные, n = 12.

Поскольку 2^{12} = 4096, то для получения выходного значения напряжения, численно соответствующего входному коду в милливольтах, производитель рекомендует использовать внешнее опорное напряжение 2,048 В. Тогда при входном коде, например, 1500, используя выражение (1), получим:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 2 \cdot 2{,}048 \cdot \frac{1500}{4096} = 1{,}5 \text{ В}.$$

На рисунке 3 приведены временные диаграммы сигналов при передаче данных по интерфейсу SPI. Максимальная тактовая частота составляет 20 МГц. Соответственно период тактовых импульсов 50 нс. Полный цикл преобразования требует использования 16 тактовых импульсов, поэтому его минимальная длительность 0,8 мкс. Максимальная частота обновления значений выходного сигнала достигает 1,25 МГц.

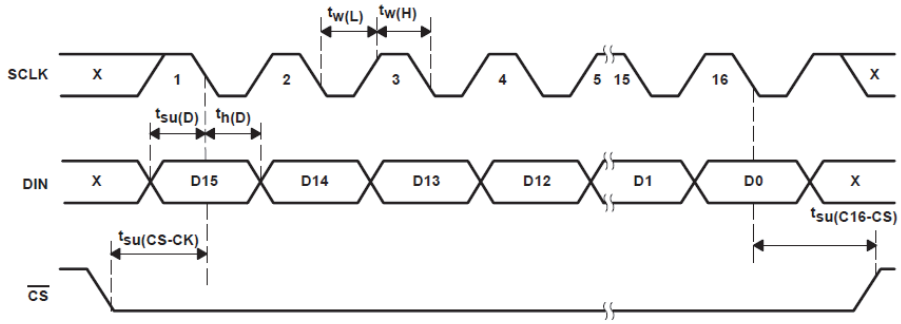


Рисунок 3 – Временные диаграммы сигналов интерфейса SPI

Передаваемые 16-разрядные значения имеют формат, приведенный в таблице 1.

Таблица 1 – Формат передаваемых данных

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R1	SPD	PWR	R0	MSB	12 Data bits										LSB

Разряды D15 – D12 являются конфигурационными битами, а разряды D11 – D0 – данными для преобразования. Бит SPD – это бит управления скоростью преобразования. Логическая «1» устанавливает высокую скорость, а логический «0» - низкую скорость. Эти биты позволяют разработчику оптимизировать соотношение скорости преобразования и рассеиваемой мощности. Бит PWR - это бит управления питанием. Логическая «1» выклю-

чает питание, а логический «0» переводит ЦАП в нормальный режим работы. При подаче питания биты SPD и PWD сбрасываются в «0» (низкая скорость преобразования и нормальный режим работы).

Биты R1 и R0 являются битами выбора регистра для записи данных (таблица 2).

Таблица 2 – Выбор регистра для записи данных

R1	R0	Выбранный регистр для записи данных
0	0	Запись данных в регистр канала B и буферный регистр
0	1	Запись данных в буферный регистр
1	0	Запись данных в регистр канала A и обновление регистра канала B содержимым буферного регистра
1	1	Зарезервировано

Программа вывода аналоговых напряжений в два канала ЦАП TLV5618A реализована для контроллера Ардуино с помощью тулкита LINX в среде LabVIEW [4, 5]. Предусмотрено одновременное обновление сигналов и высокая скорость преобразования. В этом случае необходимо сначала запись значение канала B в буферный регистр (R1R0 = 01). Тогда набор конфигурационных битов будет следующим R1_SPD_PW_ R0 = 0101. Для обеспечения компактности программы выполним объединение конфигурационных битов со значением сигнала с помощью сложения беззнаковых 16-разрядных чисел. Переведем слагаемое с конфигурационными битами в десятичную форму $0101\ 0000\ 0000\ 0000_2 = 20480_{10}$.

Затем необходимо записать данные в регистр канала A и обновить регистр канала B содержимым буферного регистра (R1R0=10). Соответствующее слагаемое с конфигурационными битами равно $1100\ 0000\ 0000\ 0000_2 = 49152_{10}$.

Необходимо помнить, что введенное значение напряжения не должно превышать 4,095 В, поскольку это значение после умножения на 1000 дает 4095 или двенадцать единиц в двоичной форме. Если превысить это значение, то в результате суммирования конфигурационные биты будут искажены.

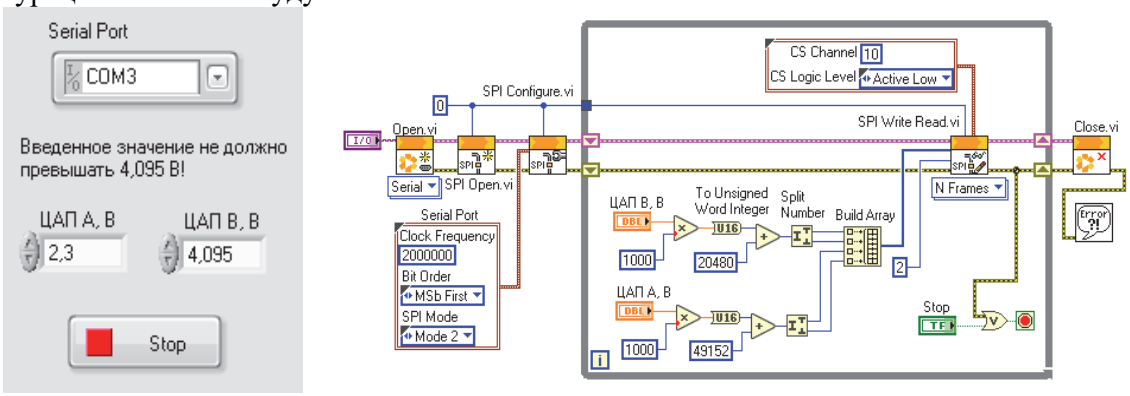


Рисунок 4 – Лицевая панель программы и ее блок-диаграмма

При конфигурировании SPI интерфейса установлены следующие параметры: частота тактовых импульсов 2 МГц, порядок сдвига разрядов (старший бит первым), режим 2 SPI интерфейса, при котором выборка данных осуществляется по спаду тактовых импульсов. Функция «To Unsigned Word Integer» преобразует действительное число в целое беззнаковое 16-разрядное значение. Функция «Split Number» разбивает это значение на два байта, а функция «Build Array» формирует массив байтов.

Для функции «SPI Write Read.vi» установлен режим передачи нескольких (N) фреймов данных, назначен размер одного фрейма в 2 байта, соответствующий размеру 16-битных данных, необходимых для ЦАП. Также выполнена конфигурация линии CS – назначен порт 10 контроллера для ее подключения, выбран активный низкий уровень.

Итак, в графической среде программирования LabVIEW2020 с помощью тулкита LINX разработана программа для связи ЦАП TLV5618A с контроллером Ардуино. Особенностью данного преобразователя является то, что он имеет два канала с выходом по напряжению, является сравнительно быстродействующим и подключается по интерфейсу SPI. Хотя программа ориентирована на применение Ардуино, однако тулкит LINX поддер-

живает также более мощные платформы Raspberry Pi и BeagleBone. Поэтому не представляет сложностей адаптировать разработанную программу под другие микроконтроллерные платформы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Семенов, Б. Ю. Шина I2C в радиотехнических конструкциях / Б. Ю. Семенов. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 192 с. – ISBN 5-93455-168-X. – EDN ZUWWKZ.
2. Евдокимов, Ю. К. LabVIEW в научных исследованиях / Ю. К. Евдокимов, В. Р. Линдваль, Г. И. Щербаков. – Москва : ДМК пресс, 2018. – 400 с.
3. TLV5618 Datasheet, PDF. – URL: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=TLV5618&sField=2 (дата обращения: 22.03.2025).
4. LabVIEW LINX and Raspberry Pi using SPI and I2C.pdf. – URL: https://www.halvorsen.blog/documents/technology/iot/raspberrypi/LabVIEW/LabVIEW%20LINX%20and%20Raspberry%20Pi%20using%20SPI%20and%20I2C.pdf (дата обращения: 22.03.2025).
5. Getting Started with the LabVIEW Hobbyist Toolkit. – URL: https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019TmpSAE&l=ru-RU (дата обращения: 22.03.2025).

УДК 621.865.8

Лысяков Игорь Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Lysyakov Igor Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kopytov Sergey Mihailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМОЙ НА ОСНОВЕ МИНИКОМПЬЮТЕРА RASPBERRY PI

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR A WALKING PLATFORM BASED ON RASPBERRY PI MINICOMPUTER

Аннотация. В работе предложена структурная схема системы управления оригинальной шагающей платформой на основе миникомпьютера Raspberry Pi. В движение данная платформа приводится с помощью шаговых двигателей и актуаторов с выдвижными штоками. Кроме электроприводов миникомпьютер обслуживает радиомодуль связи с пультом управления, приемник GPS-ГЛОНАСС, датчики и исполнительные устройства. Предусмотрено управление платформой с помощью виртуального пульта управления на базе персонального компьютера с обратной связью по видеоканалу FPV.
Abstract. The paper proposes a structural scheme of the control system of the original walking platform based on Raspberry Pi minicomputer. This platform is driven by stepper motors and actuators with retractable rods. In addition to electric actuators, the minicomputer provides a radio module for communication with the control panel, GPS-GLONASS receiver, sensors and actuators. The platform can be controlled by a virtual control panel based on a personal computer with feedback via FPV video channel.
Ключевые слова: шагающая платформа, Raspberry Pi, шаговый двигатель, актуатор, расширитель портов, структурная схема.
Key words: walking platform, Raspberry Pi, stepper motor, actuator, port expander, structural diagram.

На факультете кадастра и строительства предложена концепция и создан макет шагающей платформы, которая может использоваться для транспортировки различных ис-

полнительных устройств (рисунок 1) [1]. Данная платформа имеет два не связанных между собой полоза, внешнюю тележку и внутреннюю тележку. Внешняя тележка по роликам может передвигаться вдоль полозьев. Для этого вдоль каждого полоза натянут тросик, закрепленный на концах полоза. Эти тросики имеют фрикционное сцепление с роликами, закрепленными на валах редукторов двух шаговых двигателей, установленных на внешней тележке [2]. В результате каждый полоз можно независимо от другого полоза перемещать относительно внешней тележки. Независимое управление полозами позволяет выполнять руление при движении. По углам внешней тележки установлены актуаторы, штоки которых можно выдвигать вниз [3]. Поэтому платформа может опираться на полозы при втянутых штоках актуаторов, либо она может опираться на штоки, если они выдвинуты. В последнем случае полозы окажутся в подвешенном состоянии и не будут иметь контакта с поверхностью. Такая конструкция позволяет платформе перемещаться, чередуя упоры на полозы и на штоки актуаторов.

По внешней тележке перпендикулярно направлению движения платформы может перемещаться внутренняя тележка. Ее приводит в движение свой шаговый двигатель. На внутреннюю тележку устанавливаются дополнительные исполнительные устройства.

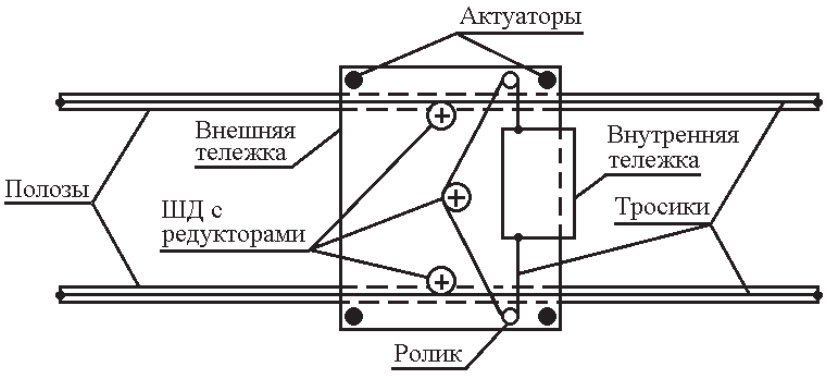


Рисунок 1 – Эскиз шагающей платформы

Ранее для освоения принципов работы с платформой была разработана простая система управления платформой на базе контроллера Arduino Mega 2560. Целью данной работы является усовершенствование системы управления и придание ей новых функций.

Структурная схема системы управления платформой представлена на рисунке 2.

Основой системы управления является достаточно мощный миникомпьютер Raspberry Pi [4]. При небольших размерах и стоимости он имеет возможность управлять внешними устройствами благодаря наличию 40-выводного разъема с набором распространенных последовательных интерфейсов (UART, I2C, SPI) и портов ввода-вывода (GPIO). Его можно программировать на популярных языках C, C++, Python и других, включая язык графического программирования G, используемый в среде LabVIEW.

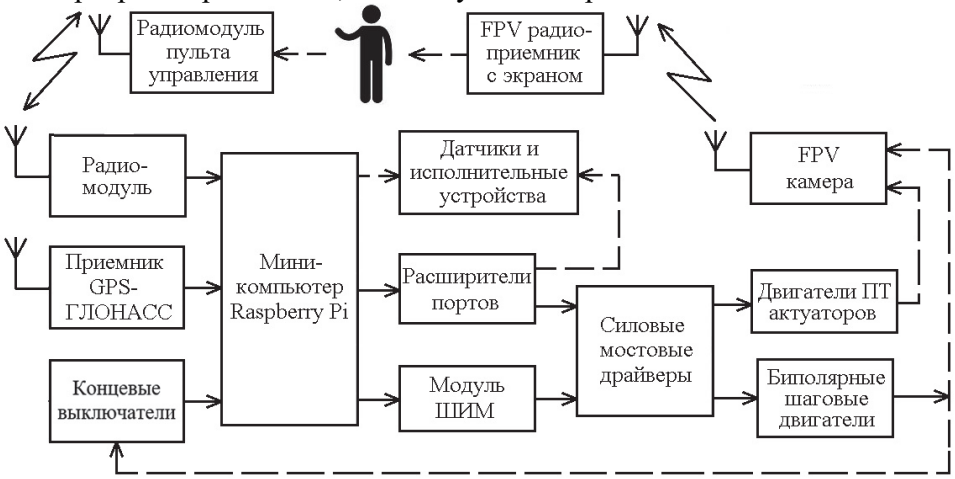


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления платформой

Основой системы управления является достаточно мощный миникомпьютер Raspberry Pi [4]. При небольших размерах и стоимости он имеет возможность управлять внешними устройствами благодаря наличию 40-выводного разъема с набором распространенных последовательных интерфейсов (UART, I2C, SPI) и портов ввода-вывода (GPIO). Его можно программировать на популярных языках C, C++, Python и других, включая язык графического программирования G, используемый в среде LabVIEW.

Управляющие команды приходят на миникомпьютер от оператора через радиомодуль. В свою очередь оператор получает информацию о местоположении и состоянии шагающей платформы также через радиомодуль и по отдельному FPV видеоканалу. В режиме автономной работы миникомпьтер прокладывает маршрут, используя координаты местности, получаемые от приемника систем спутникового позиционирования. Для управления биполярными шаговыми двигателями и двигателями постоянного тока актуаторов применены микроэлектронные мостовые драйверы [5]. Поскольку портов ввода-вывода у миникомпьютера недостаточно, использованы внешние расширители портов. Для регулировки выходного тока драйверов желательно иметь каналы ШИМ. Поскольку у миникомпьютера таких выходов нет, применен внешний модуль ШИМ. Концевые выключатели срабатывают при достижении концами полозьев внешней тележки и при достижении внутренней тележки краев внешней тележки. Они являются элементами защиты от механических повреждений. Датчики и дополнительные исполнительные устройства могут подключаться к миникомпьютеру как через встроенные последовательные интерфейсы I2C и SPI, так и через расширители портов. Визуальная обратная связь оператора с платформой осуществляется с помощью установленной на ней FPV видеокамеры с радиопередатчиком. Достаточно удобно изображение от видеокамеры выводить на экран персонального компьютера с помощью FPV радиоприемника с USB выходом. На этом же экране можно реализовать виртуальный пульт управления с USB выходом уже на радиомодуль управления. Разработать программу как для миникомпьютера Raspberry Pi, установленного на платформе, так и для персонального компьютера с виртуальным пультом управления позволяет графическая среда программирования LabVIEW. Итак, система управления шагающей платформой усовершенствована. Вместо 8-разрядного контроллера Arduino Mega 2560 предложено использовать миникомпьютер Raspberry Pi 3 Model B+, обладающий существенными преимуществами. Он содержит 4-ядерный 64-битный процессор с тактовой частотой 1.4 ГГц, поддерживает USB интерфейсы, имеет установленную операционную систему и обладает возможностью программирования на различных языках, включая графический язык G. Количество портов ввода-вывода увеличено с помощью использования расширителей портов. Введена визуальная обратная связь по видеоканалу FPV. Добавлен GPS-ГЛОНАСС модуль с более высокой разрешающей способностью.

Применен виртуальный пульт управления на основе персонального компьютера с радиомодулем двухстороннего обмена повышенной дальности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Барадулько, А. А. Разработка системы управления шагающей платформой / А. А. Барадулько, С. М. Копытов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 453-456. – EDN WPFDEB.

2. Шаговый двигатель с редуктором: принцип работы // Все о двигателе. – URL: https://avtika.ru/shagovyy-dvigatel-s-reduktorom-printsip-raboty/ (дата обращения: 31.04.2025).

3. Шишкин, С. Практика применения актуаторов LAM3 // Электропривод. – URL: https://electroprivod.ru/lam3-praktika.htm (дата обращения 31.04.2025).

4. Raspberry PI (на русском). – URL: https://moodle.taltech.ee/mod/book/view.php?id=218445 (дата обращения: 31.04.2025).

5. Драйвер двигателя L298N // 3DiY shop. – URL: https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drayver-dvigatelya-l298n/ (дата обращения: 31.04.2025).

УДК 615.47
Лысяков Игорь Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Lysyakov Igor Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kopytov Sergey Mihailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСШИРИТЕЛЯ ПОРТОВ MCP23017 СОВМЕСТНО С МИНИКОМПЬЮТЕРОМ RASPBERRY PI ПРИ ПРОГРАММИРОВАНИИ НА LABVIEW

USING MCP23017 PORT EXPANDER TOGETHER WITH RASPBERRY PI MINICOMPUTER FOR LABVIEW PROGRAMMING

Аннотация. Миникомпьютер Raspberry Pi можно использовать в качестве мощного встраиваемого контроллера и программировать его в графической среде LabVIEW. Поскольку имеющихся портов ввода-вывода зачастую недостаточно, целесообразно использовать расширители портов, подключаемые к микроконтроллеру по интерфейсам I2C и SPI. В работе приведены функциональная схема макета устройства и демонстрационная программа в среде LabVIEW LINX с использованием расширителя MCP23017, которые могут служить примером применения данного расширителя в устройстве на основе миникомпьютера Raspberry Pi.
Abstract. Raspberry Pi minicomputer can be used as a powerful embedded controller and programmed in LabVIEW graphical environment. Since the available I/O ports are often insufficient, it is advisable to use port expanders connected to the microcontroller via I2C and SPI interfaces. The paper contains a functional schematic of the device layout and a demonstration program in LabVIEW LINX environment using MCP23017 expander, which can serve as an example of using this expander in a device based on Raspberry Pi minicomputer.
Ключевые слова: миникомпьютер Raspberry Pi, LabVIEW, LINX, расширитель портов MCP23017, блок-диаграмма.
Key words: Raspberry Pi minicomputer, LabVIEW, LINX, MCP23017 port expander, block diagram.

Миникомпьютер Raspberry Pi является мощным и экономичным вычислительным средством и может использоваться не только как собственно компьютер, но и как продвинутый встраиваемый контроллер [1]. Последнему способствуют как миниатюрные размеры устройства и напряжение питания +5 В, так и наличие 40 выводного игольчатого разъема с широким набором интерфейсов (I2C, SPI, UART, GPIO). Однако для некоторых задач линий ввода-вывода портов недостаточно, тем более что они конкурируют за пины с последовательными интерфейсами. Выходом из такой ситуации может являться использование расширителей портов, подключаемых к микроконтроллеру по последовательному интерфейсу [2 - 4]. Удобной средой, обладающей широчайшими возможностями для автоматизации операций измерения и управления на базе персонального компьютера, является графическая среда разработки LabVIEW компании National Instruments. Она поддерживает как измерительное оборудование, выпускаемое самой компанией, так и широкую номенклатуру цифровых измерительных и исполнительных устройств других компаний благодаря программным драйверам для данной среды. С помощью набора программных инструментальных средств LINX Toolkit в LabVIEW добавлена библиотека для поддержки встроенных платформ Arduino, Raspberry Pi и BeagleBone. Код LabVIEW можно развернуть на этих встроенных устройствах и использовать для ввода-вывода, который включает цифровые и аналоговые сигналы, широтно-импульсную модуляцию, последовательные интерфейсы SPI, I2C, UART и многое другое. Целью работы является разработка демонстрационной

программы на LabVIEW для увеличения числа портов ввода-вывода миникомпьютера Raspberry Pi с помощью использования расширителя портов MCP23017.

Существуют несколько типов расширителей портов ввода-вывода, которые подключаются к микроконтроллеру через I2C или SPI интерфейс. Одним из наиболее популярных является квазидвунаправленный расширитель PCF8574 на 8 портов или его разновидность PCF8575 на 16 портов. Например, микросхема PCF8574 широко используется для придания символьному ЖК модулю на базе специализированного контроллера HD44780 с параллельным интерфейсом возможности подключаться к основному микроконтроллеру по интерфейсу I2C. Однако расширитель PCF8574 имеет квази-двунаправленные порты с открытым стоком, при этом ток порта при низком уровне может достигать 10мА, а при высоком – всего 0,1мА [3]. Полноценным 16-разрядным расширителем портов с двунаправленными портами является микросхема MCP23017 [4]. Кроме расширителя MCP23017 с интерфейсом I2C также используют разновидность MCP23S17 с более высокоскоростным SPI интерфейсом. В сети можно легко найти примеры программ на текстовых языках для микроконтроллерных устройств, использующих расширитель MCP23017. Однако для графического языка LabVIEW это сделать не удалось. Кроме того интерес представляет использование данного расширителя с такой мощной платформой, как миникомпьютер Raspberry Pi [1]. Поэтому для освоения принципов использования расширителя совместно с LabVIEW собран макет устройства (рисунок 1).

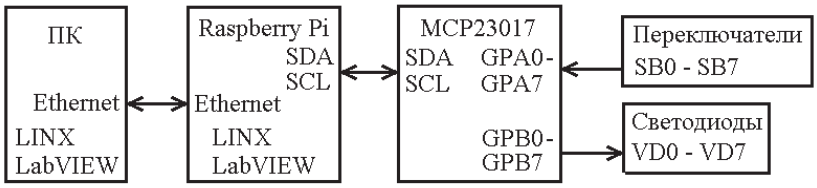
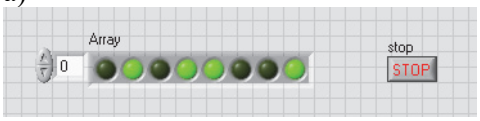


Рисунок 1 – Функциональная схема макета устройства

В работе использован миникомпьютер Raspberry Pi версии 3B. Персональный компьютер (ПК) связан с Raspberry Pi по интерфейсу Ethernet. Это можно сделать через роутер или напрямую, если выполнить соответствующие сетевые настройки. Миникомпьютер по интерфейсу I2C взаимодействует с расширителем портов. К 8-ми портам группы A расширителя подключены переключатели CB0 – SB7, а 8-мь портов группы B выведены на светодиоды. Предложенный алгоритм работы заключается в том, что миникомпьютер в бесконечном цикле считывает состояние переключателей через порты группы A расширителя, а затем выводит полученные значения через порты группы B на светодиоды. Параллельно эти значения отображаются на 8-ми логических индикаторах на мониторе ПК. На основе данного алгоритма в версии LabVIEW 2020 разработана демонстрационная программа, приведенная на рисунке 2. Необходимо отметить, что в LabVIEW 2020 имеется программный модуль LINX, который необходим для работы с встраиваемыми платформами Arduino, Raspberry Pi и BeagleBone.

а)



б)

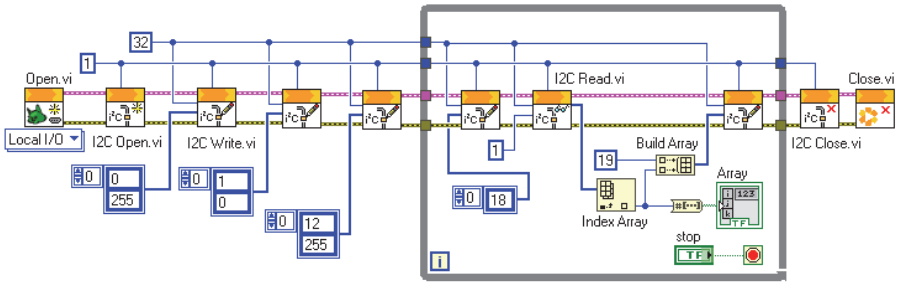


Рисунок 2 – Лицевая панель демонстрационной программы (а) и ее блок-диаграмма (б)

Для работы в среде LabVIEW с платформой Raspberry Pi необходимо создать проект [5]. Разработанная программа входит в состав проекта. Программа сначала создает канал связи между ПК и миникомпьютером по интерфейсу Ethernet, а затем создает канал работы с интерфейсом I2C. Во всех функциях работы с интерфейсом I2C необходимо установить номер канала 1. Общение миникомпьютера с расширителем происходит через регистры последнего. Регистр с адресом 0 (IODIRA) задает направление передачи данных через порты группы A. Десятичное значение 255 соответствует двоичному числу 11111111. Логические единицы настраивают все порты группы A на вход. Регистр с адресом 1 (IODIRB) задает направление передачи данных через порты группы B, а запись нулей настраивает все порты группы B на выход. Использованные переключатели просто замыкали порты на землю. Чтобы получить высокий уровень, когда переключатель разомкнут, необходима подтяжка порта к напряжению питания. Для портов группы A подтяжка подключается с помощью записи логических единиц в соответствующие разряды регистра с адресом 12 (GPPUA). В бесконечном цикле «While Loop» сначала функция «I2C Write.vi» записывает номер регистра 18 (GPIOA), который является регистром ввода-вывода данных через порты группы A. Затем функция «I2C Read.vi» считывает состояние переключателей через порты группы A. Из полученного массива, состоящего из одного байта, функция «Index Array» извлекает сам байт данных. Этот байт объединяется с адресом 19 в новый массив для вывода через порты группы B, а также функцией «Number To Boolean Array» преобразуется в массив логических значений и отображается на мониторе ПК. Регистр с адресом 19 (GPIOB) является регистром ввода-вывода данных через порты группы B. Тестирование разработанной программы на макете устройства показало ее работоспособность. Поскольку расширитель имеет три внешних адресных входа, в одном устройстве можно использовать до восьми таких расширителей. В режиме вывода выходной ток любого порта может достигать 25 мА как при высоком, так и при низком уровне. Важным обстоятельством является то, что программа, разработанная на ПК для миникомпьютера Raspberry Pi, может работать как в связке ПК – Raspberry Pi, так и локально только на самом миникомпьютере.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Raspberry PI (на русском). – URL: https://moodle.taltech.ee/mod/book/view.php?id=218445 (дата обращения: 22.03.2025).

2. Datasheet NXP PCF8574 – Даташит. – URL: https://www.rlocman.ru/datasheet/data.html?di=508697&/PCF8574=&srsltid=AfmBOoo-aUhVTiku0ONv2mp8g0q9IrqZ_i7ocrhC3GR6L03q74K59Qqu (дата обращения: 22.03.2025).

3. Расширитель GPIO PCF8574. – URL: https://kotyara12.ru/iot/pcf8574/ (дата обращения: 22.03.2025).

4. Расширитель GPIO MCP23017. – URL: https://kotyara12.ru/iot/mcp23017/ (дата обращения: 22.03.2025).

5. LabVIEW LINX and Raspberry Pi Using SPI and I2C Interfaces. – URL: https://www.halvorsen.blog/documents/technology/iot/raspberrypi/LabVIEW/LabVIEW%20LINX%20and%20Raspberry%20Pi%20using%20SPI%20and%20I2C.pdf (дата обращения: 22.03.2025).

УДК 621.316.722.076.12

Ляпин Владимир Владимирович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lyapin Vladimir Vladimirovich, postgraduate student, Komsomolsk- na-Amure State University

Табаров Бехруз Довудходжаевич, кандидат технических наук, доцент; Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tabarov Behruz Dovudhodzhayevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Kom-somolsk-on-Amur State University

Соловьев Вячеслав Алексеевич, доктор технических наук, профессор; Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Solovyov Vyacheslav Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor; Komsomolsk- na-Amure State University

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ LC-ФИЛЬТРА НА РАБОТУ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И ГОРОДСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ASSESSMENT OF THE LC-FILTER'S IMPACT ON THE OPERATION OF EXISTING ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS AND URBAN ELECTRICITY CONSUMERS

Аннотация. В статье рассматривается влияние гармонических составляющих токов и напряжений на работу зарядных станций электромобилей. Исследование влияния гармонических составляющих токов и напряжений на работу зарядных станций электромобилей проводилось в среде Matlab на имитационной модели городской трансформаторной подстанции, где к шинам распределительного устройства трансформатора параллельно с городскими потребителями подключены зарядные станции электромобилей. Полученные результаты исследования показали, что наличие гармонических составляющих токов и напряжений приводит к снижению эффективности работы зарядных станции электромобилей из-за замедления процесса заряда аккумуляторной батареи электромобиля.
Abstract. The article examines the influence of harmonic components of currents and voltages on the operation of electric vehicle charging stations. The study of the influence of harmonic components of currents and voltages on the operation of electric vehicle charging stations was conducted in the Matlab environment on a simulation model of an urban transformer substation, where electric vehicle charging stations are connected to the transformer switchgear buses in parallel to urban consumers. The results of the study showed that the presence of harmonic components of currents and voltages leads to a decrease in the efficiency of the charging stations of electric vehicles due to a slowdown in the charging process of the battery of an electric vehicle.
Ключевые слова: городская трансформаторная подстанция, имитационная модель, гармонические составляющие тока и напряжения, зарядная станция электромобилей, фильтрокомпенсирующее устройство.
Key words: urban transformer substation, simulation model, harmonic components of current and voltage, electric vehicle charging station, filter compensating device.

23 августа 2021г распоряжением Правительства Российской Федерации была утверждена концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта на период до 2030 года. Согласно концепции в период с 2025 по 2030 годы в стране должны быть запущены в эксплуатацию не менее 72 тыс. штук зарядных станций, из которых не менее 28 тыс. штук – быстрые зарядные станции [1]. Однако внедрение большого количества зарядных станций в сеть приводит к появлению новых проблем, среди которых можно выделить их влияние на качество электроэнергии систем электроснабжения. Зарядные станции как прерывистые и случайные нагрузки вызывают гармонические искажения, в результате чего снижается эффективности работы зарядных станций электромобилей из-за ухудшения качества электроэнергии [3]. Низкое качество электроэнергии может привести к недовольству клиентов и увеличению эксплуатационных расходов [2]. Для устранения обозначенных проблем появляется необходимость применения фильтрокомпенсирующего устройства на шинах распределительного устройства трансформаторной подстанции. Ниже рассматриваем влияние фильтрокомпенсирующего устройства на работу зарядных станций электромобилей.

Основываясь на предыдущей работе [4], к ранее разработанной модели добавим блок LC – фильтра и ещё один модуль зарядной станции электромобиля. Модель представлена на рис. 1. Она состоит из питающей сети, к которой подключен понижающий трансформатор 6/0.4 кВ. К вторичной обмотке трансформатора подключена типовая нагрузка

АЗС, и две зарядные станции, состоящая из выпрямителя и аккумулятора электромобиля мощностью 24кВт/ч и номинальным напряжением 360В.

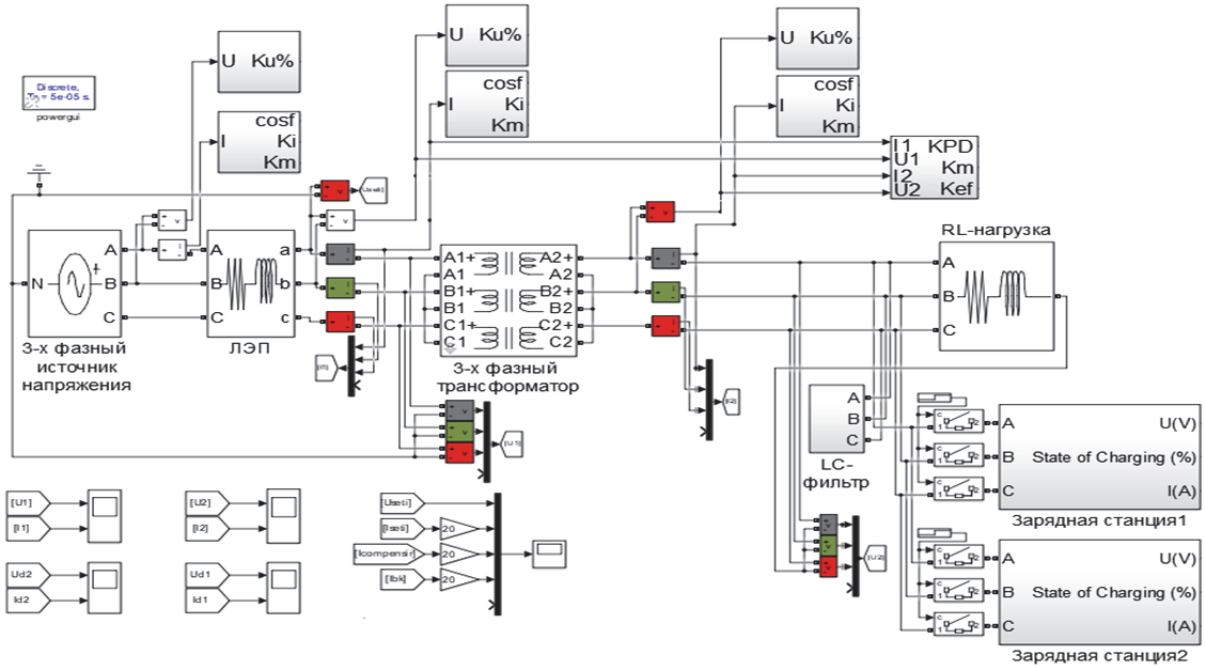


Рисунок 1 – Имитационная модель городской трансформаторной подстанции с зарядной станции электромобилей и блоком LC – фильтра

Полученные результаты исследования влияния гармонических составляющих токов и напряжений на работу зарядных станций электромобилей приводятся на рис. 2 – рис. 6. На рис. 2 и рис. 3 приводятся линейные токи ($i_{Ан}$, $i_{Вн}$, $i_{Сн}$) и напряжения ($u_{Ан}$, $u_{Вн}$, $u_{Сн}$) на шинах распределительного устройства до (рис. 2) и после (рис. 3) подключения LC-фильтра, а на рис. 4 и рис. 5 приводятся осциллограммы фазного тока и напряжения на нагрузке (рис. 4а и рис. 5а), а также результаты исследования гармонических составляющих тока и напряжения (рис. 4б и рис. 5б) для оценки влияния их на работу зарядных станций электромобилей до (рис. 4) и после (рис. 5) подключения LC-фильтра.

Как видно из результатов исследования, приведенных на рис. 4 коэффициент искажения тока k_i составляет 0,293%, а коэффициент несинусоидальности напряжения k_u 4,035%. Полученные результаты исследования, представленные на рис. 5 подтверждают, что при подключении LC-фильтра к шинам распределительного устройства городской трансформаторной подстанции, коэффициент искажения тока снижается до 0,024%, а коэффициент несинусоидальности напряжения до 1,834%.

Как видно из результатов исследования, приведенных на рис. 4 коэффициент искажения тока k_i составляет 0,293%, а коэффициент несинусоидальности напряжения k_u 4,035%. Полученные результаты исследования, представленные на рис. 5 подтверждают, что при подключении LC-фильтра к шинам распределительного устройства городской трансформаторной подстанции, коэффициент искажения тока снижается до 0,024%, а коэффициент несинусоидальности напряжения до 1,834%.

На рис. 6 иллюстрируется процесс заряда аккумулятора электромобилей до (кривая 1) и после (кривая 2) подключения LC-фильтра. Как демонстрирует кривые, представленные на рис. 6 применение LC-фильтра замедляет процесс заряда аккумулятора электромобилей. Это связанно с тем, что подключение LC-фильтра приводит к увеличению коэффициента загрузки трансформатора, в результате чего создается просадка напряжения, по причине которой происходит замедление процесса заряда аккумуляторных батареей электромобилей.

Результатами численных экспериментов подтверждено, что ухудшение качества электроэнергии не только негативно влияет на эффективность работы зарядных станций электромобилей, но и влияет на работу городских потребителей электроэнергии, силового трансформатора подстанции и элементы питающей сети. Результатами исследования физи-

ческих процессов при стационарных и динамических режимах работы городские системы электроснабжения с наличием зарядных станций электромобилей показывают, что применение LC-фильтра с одной стороны компенсирует гармонические составляющие токов и напряжений, а с другой стороны загружают силовой трансформатор и питающую сеть дополнительной реактивной энергией, в результате чего возникает просадка напряжения в системах электроснабжения. Это создает необходимости применения дополнительного устройства для выравнивания уровня напряжения на шинах распределительного устройства трансформаторной подстанции на номинальном значении.

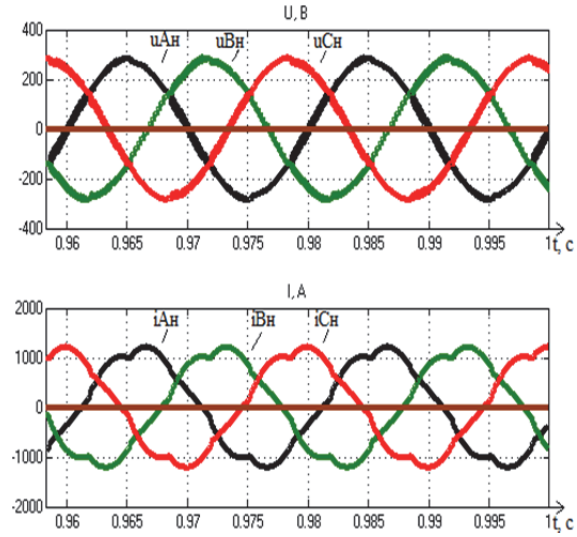


Рисунок 2 – Осциллограммы линейных токов и напряжений на нагрузке до подключения LC-фильтра

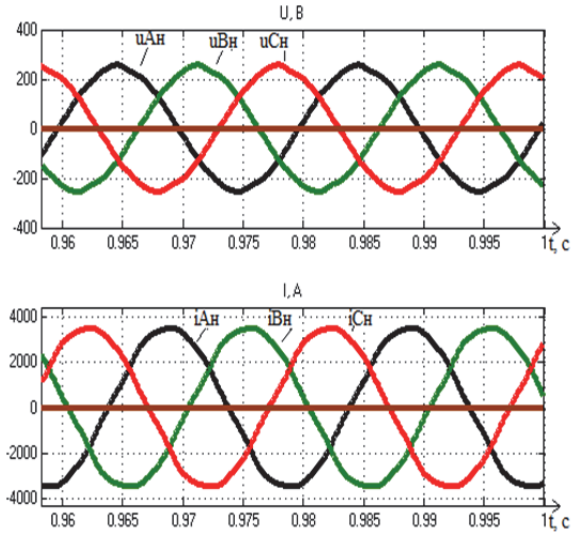


Рисунок 3 – Осциллограммы линейных токов и напряжений на нагрузке после подключения LC-фильтра

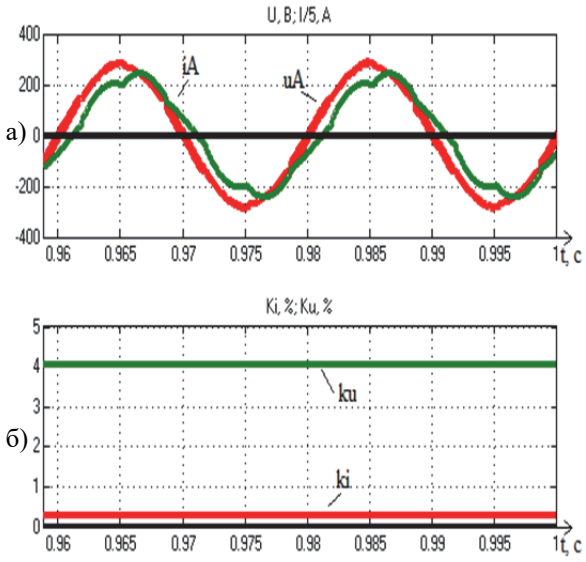


Рисунок 4 – Осциллограммы фазного тока и напряжения на нагрузке, а также гармонических составляющих тока и напряжения до подключения LC-фильтра

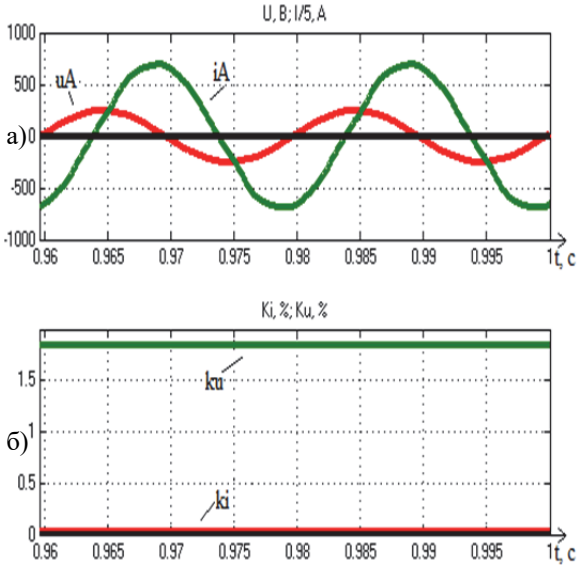


Рисунок 5 – Осциллограммы фазного тока и напряжения на нагрузке, а также гармонических составляющих тока и напряжения после подключения LC-фильтра

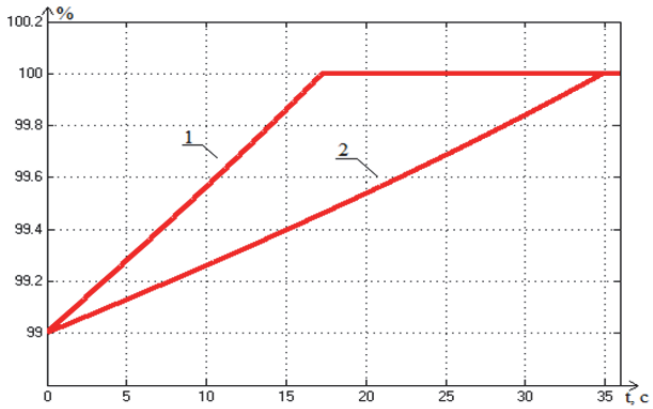


Рисунок 6 – График изменения процента заряда
электромобилей до и после применения LC-фильтра

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Правительство утвердило Концепцию по развитию производства электрического автотранспорта [Электронный ресурс] URL http://government.ru/docs/43060/ (Дата посещения 19.03.2025).

2. Коэффициент гармонических искажений (THD) в зарядных устройствах для электромобилей: проблемы и решения [Электронный ресурс] URL https://www.ulandpower.com/ru/Blog/total-harmonic-distortion-thd-in-ev-chargers/ (Дата посещения 27.02.2025).

3. Ахмадеев, А. Р. Влияние электромобилей и зарядных станций на электрические сети / А. Р. Ахмадеев // Энергоэксперт. – 2018. – №1(65). – С.24-28.

4. Ляпин, В. В. Влияние нестабильности напряжения питающей сети на работу зарядных станций электромобилей / В. В. Ляпин, Б. Д. Табаров, В. А. Соловьев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : материалы Всеросс. науч-практ. конф. молодых ученых, г. Комсомольск-на-Амуре, 11-12 декабря 2024г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО КнАГУ, 2025. – Ч. 1. – С. 242-245

УДК 681.5

Маслов Владислав Игоревич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Maslov Vladislav Igorevich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University
Куделько Анатолий Романович, кандидат технических наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kudelko Anatoly Romanovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ И ВЕДЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП И АСУП ВКЛЮЧАЯ БАЗЫ ДАННЫХ И МЕТОДЫ ИХ ОПТИМИЗАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ НЕРГОСНАБЖЕНИЕМ

METHODS OF EFFECTIVE ORGANIZATION AND MAINTENANCE OF SPECIALISED INFORMATION SUPPORT FOR SCADA AND APCS INCLUDING DATABASES AND METHODS OF THEIR OPTIMISATION IN AUTOMATED ENERGY SUPPLY CONTROL SYSTEMS

Аннотация. Целью исследования является анализ существующих методов информационного обеспечения в автоматизированных системах управления энергоснабжением, для дальнейшего формирования предложений по их оптимизации в части корректности данных и оптимизации энергопотребления. В статье рассмотрены ключевые алгоритмы анализа дан-

ных, включая кластеризацию нагрузок, прогнозирование потребления и обнаружение аномалий, а также их интеграция в контур АСУТП. Вместе с этим рассматривается оптимизация энергопотребления с применением генетических алгоритмов и методов машинного обучения [1].
Abstract. The aim of the study is to analyze existing methods of information support in automated energy supply management systems for the further formation of proposals for their optimization in terms of data correctness and energy consumption optimization. The article considers key data analysis algorithms, including load clustering, consumption forecasting and anomaly detection, as well as their integration into the APCS circuit. At the same time, energy consumption optimization using genetic algorithms and machine learning methods is considered [1].
Ключевые слова: АСУТП, АСУП, базы данных, оптимизация, энергоснабжение, информационное обеспечение, автоматизированные системы управления.
Key words: SCADA, APCS, databases, optimization, power supply, information support, automated control systems.

Современные системы управления энергоснабжением требуют интеллектуальных методов обработки данных для повышения эффективности [2] и снижения затрат. Актуальность исследования методов эффективной организации и ведения специализированного информационного обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производством (АСУП) обусловлена возрастающей сложностью современных энергетических систем и необходимостью их оптимизации. В условиях цифровизации и роста объемов данных критически важными становятся вопросы интеграции баз данных, их оптимизации и обеспечения надежности. Энергоснабжение – ключевая отрасль, где даже незначительные сбои в управлении могут привести к серьезным экономическим и технологическим последствиям. Эффективное информационное обеспечение АСУТП и АСУП позволяет повысить точность мониторинга, прогнозирования и управления энергоресурсами, снижая эксплуатационные затраты и минимизируя риски аварий. В статье рассматриваются современные методы организации баз данных, алгоритмы их оптимизации, а также подходы к интеграции информационных систем в контуре управления энергоснабжением.

В работе рассмотрены современные методы организации баз данных, их оптимизация и интеграция в системах управления энергоснабжением [3].

Существуют разные способы организации баз данных. Реляционные СУБД (PostgreSQL, Oracle) – для структурированных данных с жесткой схемой, обеспечивают ACID-транзакции. NoSQL-системы (MongoDB, Cassandra) – для работы с большими объемами неструктурированных данных, включая временные ряды и показания датчиков. Time-Series DB (InfluxDB, TimescaleDB) – оптимизированы для хранения и обработки временных данных (телеметрия, показания счетчиков). Графовые БД (Neo4j) – для моделирования сложных сетевых структур (распределенные энергосистемы).

В связи с тем, что работу с большими объёмами данных необходимо оптимозировать, существуют разные алгоритмы оптимизации. Индексирование и партиционирование – ускорение запросов в больших БД. Кэширование (Redis, Memcached) – снижение нагрузки на СУБД, Сжатие данных – уменьшение объема хранимой информации (актуально для временных рядов). Использование column-oriented хранилищ (ClickHouse) – для аналитических запросов. Машинное обучение – прогнозирование нагрузки и оптимизация запросов.

Для интеграции информационных систем в производственные процессы существуют разные стандарты. Промышленные стандарты (OPC UA, MQTT) – для обмена данными между устройствами и АСУТП, ETL-процессы и Data Lakes – консолидация данных из разнородных источников. Микросервисная архитектура – гибкость и масштабируемость. Цифровые двойники – виртуальное моделирование энергосистем для тестирования сценариев. В статье предложена UML диаграмма деятельности процесса формирования модели энергосберегающей системы на основе применения эффективных протоколов обмена Протоколы, применяемые в рассматриваемом процессе: MQTT – для легковесного обмена данными с датчиками, OPC UA – для безопасной интеграции с промышленным оборудовани-

ем. Оптимизация процесса достигается с помощью использования колоночных БД (ClickHouse) для аналитики и цифровых двойников – для тестирования сценариев энергосбережения. Все критические решения (аномалии, ошибки данных) должны приводить к действиям в реальном времени. информацией (рисунок 1). Предложенная UML-диаграмма деятельности, сочетающая эффективные протоколы обмена данными (OPC UA, MQTT) с алгоритмами реального времени, что позволяет минимизировать ручное вмешательство описывает процесс анализа данных в системе управления энергопотреблением. На начальном этапе происходит сбор показаний с датчиков через промышленные протоколы Modbus, OPC UA и MQTT с последующей обработкой, где выполняется фильтрация шумов и нормализация данных. Далее система проверяет качество данных по заданному порогу (90%), отслеживая некорректные значения.

При успешной проверке данные агрегируются и параллельно анализируются тремя алгоритмами: кластеризация k-means для выявления режимов нагрузки системы энергоснабжения, LSTM-модель для прогнозирования потребления энергетических ресурсов и Isolation Forest для обнаружения аномалий в переданной информации. Результаты синхронизируются, и при обнаружении отклонений запускается оптимизация параметров системы с помощью генетических алгоритмов. Эталонные данные сохраняются в InfluxDB, а результаты визуализируются с помощью PDF отчётов или в Grafana.

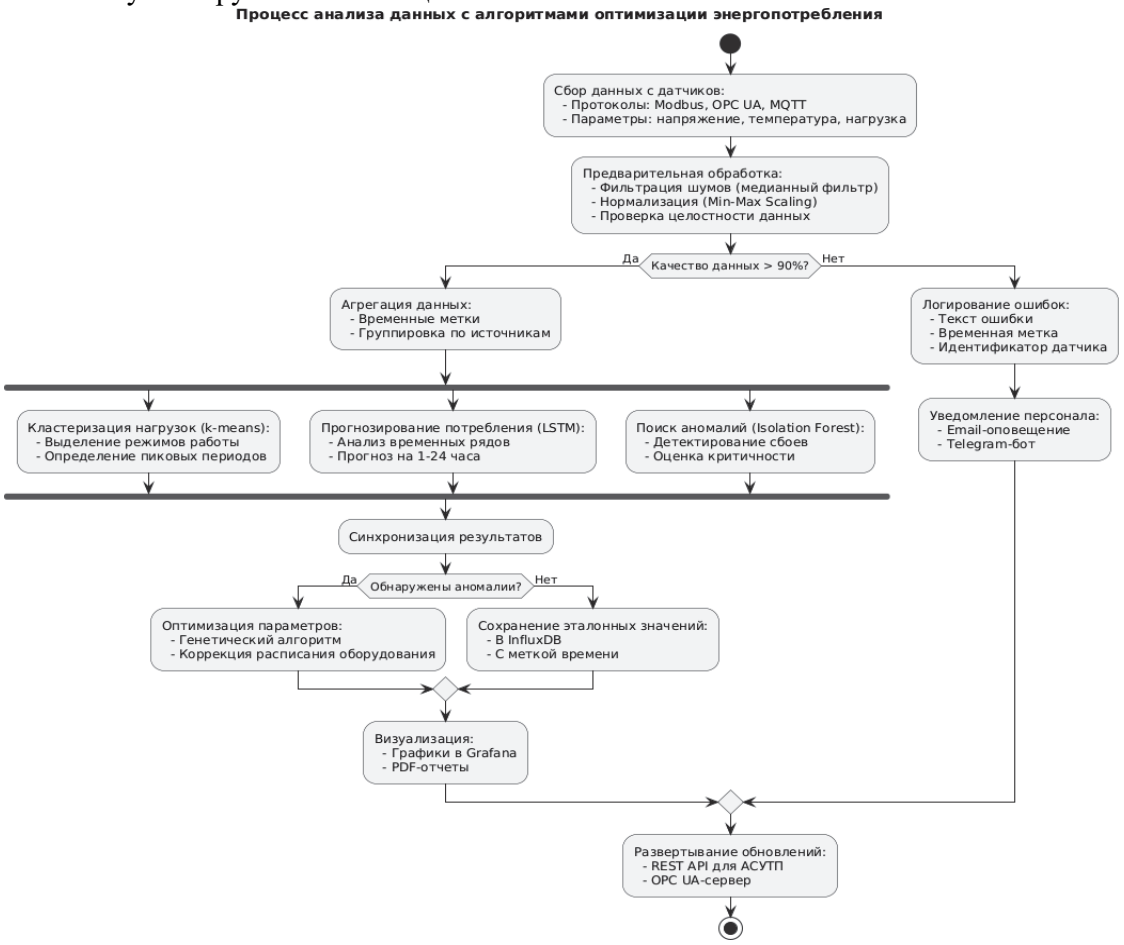


Рисунок 1 – UML диаграмма деятельности процесса формирования модели энергосберегающей системы на основе применения эффективных протоколов обмена

Для ошибочных данных предусмотрено логирование в Elasticsearch и уведомление персонала через Telegram. Финальный этап — развертывание обновлений через REST API или OPC UA. Диаграмма демонстрирует замкнутый цикл управления с автоматизированным принятием решений, что повышает энергоэффективность системы.

В работе рассмотрены современные методы организации баз данных, их оптимизация и интеграция в системах управления энергоснабжением. Также рассмотрено применение UML-диаграмм деятельности для формализации процессов управления энергосберега-

ющими системами. Предложенная диаграмма позволяет наглядно отобразить последовательность этапов сбора, анализа и оптимизации данных, включая критические точки ветвления при обработке аномалий. Вместе с этим при внедрении в производственные процессы АСУ, которая принимает решения на основе режимов работы и пиковых нагрузок энергоснабжающей системы, можно добиться снижения энергопотребления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Староверов, Б. А. Повышение эффективности системы автоматизированного коммерческого учета электроэнергии за счет введения функций прогнозирования / Б. А. Староверов, Б. А. Гнатюк // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – № 6. – С. 26-29. – EDN RRYZSD.

2. Гусаров, В. А. Повышение эффективности распределения и регулирования электроэнергии на основе интегрированной АСУ энергоресурсами : специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гусаров Владимир Александрович. – Оренбург, 2009. – 189 с. – EDN QEMNXL.

3. Алексеева, И. Ю. Повышение надежности электроэнергетических систем на основе нейронных технологий / И. Ю. Алексеева // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 3(32). – С. 15-19. – DOI 10.18503/2311-8318-2016-3(32)-15-19. – EDN WWCMRT.

УДК 62-531.6

Мельникова Софья Евгеньевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Melnikova Sofya Evgenievna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Горькавый Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Gorkavy Alexander Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

КОМБИНИРОВАННОЕ МОДАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ АСТАТИЗМА В СИСТЕМЕ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ

COMBINED MODAL CONTROL OF A HIGH DEGREE OF ASTATISM IN THE MECHATRONIC MODULE SYSTEM

Аннотация. В работе рассматриваются проблемы взаимовлияния мехатронных модулей за счёт силовых воздействий друг на друга различной конфигурации в процессе движения манипуляционного механизма. Эти воздействия ухудшают функционирование мехатронных модулей, что значительно снижает точность выполнения траекторных перемещений. С целью устранения их взаимовлияния предлагается разработка систем управления мехатронными модулями с астатизмом третьего порядка по возмущающему воздействию на принципах модального управления.

Abstract. The paper considers the problems of the mutual influence of mechatronic modules due to the force effects on each other of various configurations during the movement of the manipulation mechanism. These impacts impair the functioning of mechatronic modules, which significantly reduces the accuracy of trajectory movements. In order to eliminate their mutual influence, it is proposed to develop control systems for mechatronic modules with third-order astatism based on the principles of modal control.

Ключевые слова: астатизм, возмущающее воздействие, модальный ПИ – регулятор, наблюдающее устройство.

Key words: astatism, disturbing effect, modal PI controller, observing device.

Промышленный робот (ПР), как сложная электромеханическая система, состоит из взаимосвязанных мехатронных модулей, которые обеспечивают движение ПР, взаимодействие с окружающей средой и выполнение поставленных задач. В процессе функционирования ПР мехатронные модули оказывают воздействия друг на друга посредством моментов и сил, которые негативно влияют на работу всей системы. Сложность проектирования системы управления мехатронными модулями заключается в достижении ими требуемой точности и быстродействия за счёт исключения или снижения взаимовлияний. Включение в систему управления мехатронным модулем интегрирующих звеньев придаёт ей астатические свойства и с повышением порядка астатизма уменьшает или исключает влияние возмущений различной конфигурации на работу системы. Применение в системах управления астатических наблюдающих устройств позволяет в результате оценки возмущения осуществить его компенсацию, а, следовательно, повышать порядок астатизма по возмущающему воздействию. В работе предлагается совместить существующие разработки модального ПИ – регулятора [1; 2] и компенсационного регулятора на основе астатического наблюдающего устройства [3; 4] с целью повышения порядка астатизма по возмущающему воздействию в системе управления мехатронным модулем.

Представление результатов разработки поясняется на функциональной схеме (рисунок 1), поскольку структурное или матричное представление чрезвычайно объёмно. Первоначально производится построение модального ПИ – регулятора (МПИР) [1,2], который совместно с силовым блоком мехатронного модуля (СБММ) образует систему пятого порядка с расширенным вектором состояния:

$$x_p^T(t) = [\varphi(t);\ \omega(t); I_я(t); E_{тп}(t); x_и(t)] = [x(t); x_и(t)]$$

где $x(t)$ – вектор состояния СБММ;

$x_и(t)$ – переменная интегральной составляющей регулятора.

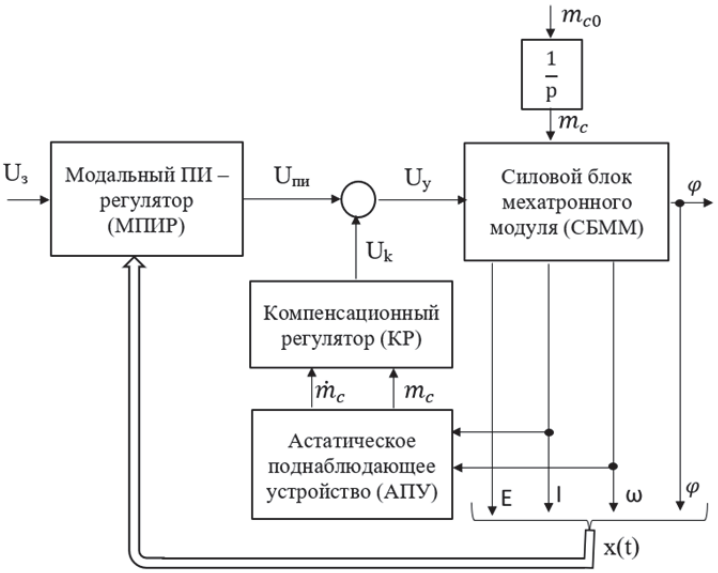


Рисунок 1 – Система с модальным ПИ – регулятором и наблюдателем

Система управления с модальным ПИ – регулятором гарантирует в системе астатизм второго порядка по задающему воздействию $U_з(t)$ и астатизм первого порядка по возмущающему воздействию $m_c(t)$, что явно недостаточно при сложном характере нагрузок на мехатронные модули в составе ПР.

Далее формируется астатическое поднаблюдающее устройство (АПУ) [3] полного порядка с двойным интегрированием для подобъекта СБММ, включающего в себя скорость двигателя $\omega(t)$ характеризуемую уравнением $\omega(t) = \frac{c}{J} \cdot I_я(t) + \frac{1}{J} \cdot m_c(t)$ и возмущение в виде линейно – нарастающего сигнала $\dot{m}_c(t) = m_{c0}(t), \dot{m}_{c0}(t) = 0$.

Сформированный поднаблюдатель оценивает возмущение (нагрузку) $\hat{m}_c(t)$ и его производную $\dot{\hat{m}}_c(t)$ с ошибками наблюдения $\tilde{m}_c(t)$ и $\dot{\tilde{m}}_c(t)$, которые при соответствующей динамике наблюдателя незначительно влияют на более «медленную» динамику системы.

Формируется компенсационный регулятор (КР) с матрицей коэффициентов $K_p = [K_m; K_{\dot{m}}]$, которые рассчитываются так, чтобы исключить не нулевые нули в передаточной функции системы по возмущающему воздействию. В результате произведённых расчётов и вычислений при настройке системы с модальным ПИ – регулятором [4], например, на стандартную биномиальную форму передаточная функция имеет вид:

$$\frac{\varphi(p)}{m_c(p)} = \frac{\frac{k_{\text{ред}}}{J} \cdot p^3}{(p+\omega_0)^5}.$$

Полученная система управления с модальным ПИ – регулятором и компенсационным регулятором обладает астатизмом третьего порядка и исключает установившуюся ошибку при параболическом возмущении $\ddot{m}_c(t) = m_{c0}(t)$, $\dot{m}_{c0}(t) = 0$, что повышает эффективность функционирования мехатронного модуля в условиях нагрузок сложной конфигурации.

На рисунке 2 представлены графики переходных процессов по возмущающему воздействию разработанной системы при различных конфигурациях $m_c(t)$.



1 – ступенчатое возмущающее воздействие; 2 – линейно – нарастающее возмущающее воздействие; 3 – параболическое возмущающее воздействие

Рисунок 2 – Переходный процесс сигнала φ(t) по возмущающему воздействию при различных конфигурациях $m_c(t)$.

В качестве возмущений были использованы ступенчатый, линейно нарастающий и параболический сигналы. Как видно из реакции системы на возмущения переходный процесс вышел на установившееся значение с нулевой статической ошибкой при всех приведённых видах возмущений. Графики переходных процессов свидетельствуют о высоких точностных характеристиках системы с разработанной структурой системы управления мехатронного модуля.

Предложен и разработан подход к формированию системы управления мехатронным модулем с модальным ПИ – регулятором и астатическим наблюдающим устройством с двойным интегрированием для повышения точности его функционирования в составе ПР. Модальное управление и компенсация нагрузок сложной конфигурации обеспечивает эффективную работу мехатронных модулей. Это позволяет повысить точность и стабильность работы ПР в составе робототехнических комплексов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Synthesis of modal PI – regulator with multiple integration / A. I. Gorkaviy, M. A. Gorkaviy, M. A. Melnichenko // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) – 2019. - DOI:10.1109/FarEastCon.2019.8934225. – EDN CKERDR.

2. Quakernaak, H. Linear optimal control systems / H. Quakernaak – M: World, 1977 – 656 p.

3. Наблюдатели состояния и нагрузок современных электромеханотронных систем А. Р. Колганов, С. К. Лебедев, Н. Е. Гнездов // Известия ТулГУ. Технические науки – 2010. – № 3 - 2. – С. 115-121. – EDN TBRYZN.
4. Кузовков, Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков – Москва : Машиностроение, 1976. – 184 с.

УДК 681.5
Минебаев Николай Леонидович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Minebaev Nicolai Leonidovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Горькавый Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Gorkavi Alexandr Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РОСТА МОМЕНТА ИНЕРЦИИ НА ПИКОВЫЙ ТОК В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ С МОДАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

STUDY OF INFLUENCE OF THE SPEED OF GROWTH OF THE MOMENT OF INERTIA ON PEAK CURRENT IN ADAPTIVE MODAL CONTROL SYSTEM OF MECHATRONIC MODULE

Аннотация. В работе рассматривается влияние скорости нарастания момента инерции и величины коэффициента быстродействия системы на величину пикового тока в мехатронном модуле с модальным регулятором. Рассматриваемая система противодействует изменению момента инерции перемещаемого тела динамическим изменением коэффициентов регулятора. Все переходные процессы были получены путём моделирования в среде Matlab.
Abstract. This study examines the influence of speed of growth of moment of inertia and of value of quickness coefficient on the transient process of current in mechatronic module with modal regulator. Examined control system counteracts changes in moments of inertia of the working body by dynamic tuning of its regulator coefficients. All transient responses were acquired by modeling in Matlab environment.
Ключевые слова: момент инерции, модальный регулятор, ограничение тока, быстродействие, адаптивное управление
Key words: moment of inertia, modal regualtor, limiting of current, quickness, adaptive control

Системы управления с модальным регулятором могут настраиваться на различные формы, классическими примерами которых являются биномиальная и форма Баттерворта. Модальные регуляторы имеют свободный параметр быстродействия ω_0. Выбор этого параметра определяет как время переходного процесса, так и пиковые скорость и ток.

Существуют ситуации, в которых момент инерции мехатронного модуля существенно изменяется за короткий промежуток времени, как например происходит в первом звене промышленного робота, когда он переходит из вытянутого в горизонтальной плоскости положения в вертикальное. Такое изменение перемещаемого тела способно привести к изменению момента инерции более чем в 10 раз, как это продемонстрировано для трёхзвенного манипулятора [1].

В статье [2] показано, что динамическое изменение коэффициентов регулятора согласно новым значением момента инерции способно значительно улучшить переходный процесс, однако ценой сохранения быстродействия являются большие скачки тока. Так как рассматриваемая система управления с модальным регулятором не имеет блоков ограничения, то пиковые значения тока могут контролироваться в условно закрытой области только

изменением ω_0. Целью работы является исследование зависимостей пиковых токов от скорости нарастания момента инерции и от величины коэффициента быстродействия ω_0, а также подбора такой функциональной связи ω_0 и скорости изменения момента инерции, чтобы сохранить пиковый ток в условно закрытой области.

Рассматриваемая система управления мехатронным модулем состоит из двигателя постоянного тока с независимым возмущением, силового усилителя, модального регулятора, блока параметрического расчёта коэффициентов от значения момента инерции, блока имитации изменения момента инерции. Структура системы представлена на рисунке 1.

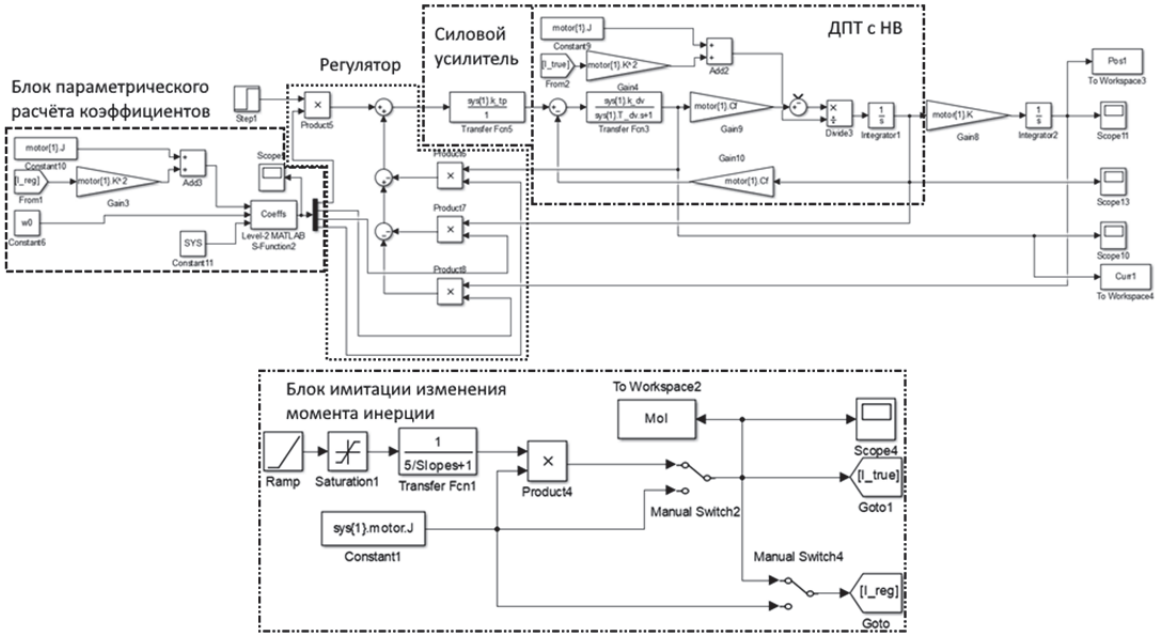
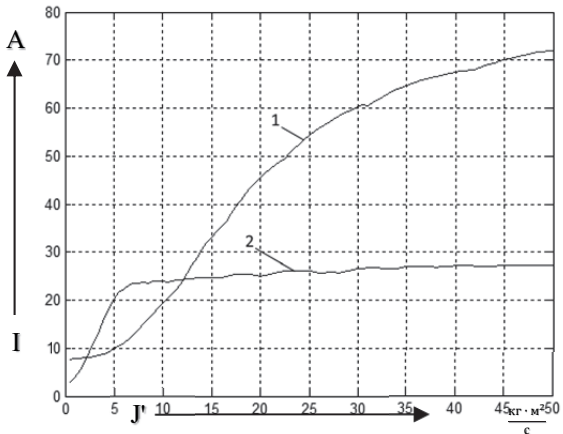


Рисунок 1 – Модель системы управления

Рассмотрим влияние скорости роста момента инерции на ток. Момент инерции J линейно растёт от начального значения 0,1 кг · м^2 до 2 кг · м^2, рост происходит со скоростью J'. Переход от линейного роста к постоянному значению сглажен апериодическим звеном первого порядка с постоянной времени T равной 0,2J'. Для значений J' в диапазоне от 0,5 до 50 $\frac{\text{кг·м}^2}{\text{с}}$ с шагом в 0,5 $\frac{\text{кг·м}^2}{\text{с}}$ были проанализированы переходные процессы тока, максимальные и минимальные значения которых были вынесены в отдельную зависимость от J' при фиксированной ω_0 равной 10, представленной на рисунке 2.



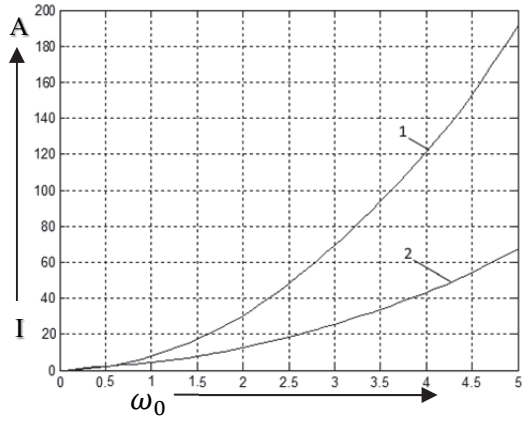
1 – Максимум тока; 2 – Минимум тока

Рисунок 2 – Значения экстремумов тока при различных скоростях роста момента инерции

Амплитуда минимума тока растёт с увеличением J' по кривой 2 (рисунок 2), похожей на переходный процесс апериодического звена, однако при J'≈7,5 $\frac{\text{кг·м}^2}{\text{с}}$, соответствующему достижению J значения 2 кг · м^2 за 0,267 с, рост амплитуды минимума тока не останавливается, но значительно замедляется.

Максимум тока же изменяется по зависимости, похожей на переходный процесс апериодического звена второго порядка (кривая 1, рисунок 2).

Стоит отметить, что при устремлении J' к бесконечности, максимальное значение J достигается мгновенно, что эквивалентно $J = J_{max}$ в начальный момент времени. Таким образом, амплитуды как минимума, так и максимума тока должны приближаться к асимптотам. Теперь рассмотрим влияние величины ω_0 на пиковый ток. Пусть скорость изменения момента инерции равна 12 $\frac{\text{кг·м}^2}{\text{с}}$, что соответствует переходному процессу с близкими по амплитуде минимуму и максимуму тока, а ω_0 изменяется в диапазоне от 0,1 до 5 с шагом 0,1. Полученная зависимость представлена на рисунке 3



1 – Максимум тока; 2 – Минимум тока

Рисунок 3 – Значения экстремумов тока при различных ω_0

Как видно из рисунка 3, изначально близкие амплитуды экстремумов расходятся с ростом ω_0.

Найдём зависимость экстремумов тока от ω_0. Передаточная функция системы управления с модальным регулятором третьего порядка по току [3]:

$$W_I(p) = \frac{K\omega_0^3 p^2}{(p+\omega_0)^3},$$

где K – коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров системы.

Тогда, переходный процесс тока при единичном задающем воздействии:

$$I(t) = K\omega_0^3 e^{-\omega_0 t}\left(t - \frac{1}{2}\omega_0 t^2\right),$$

откуда:

$$I'(t) = K\omega_0^3 e^{-\omega_0 t}\left(\frac{1}{2}\omega_0 t^2 - 2\omega_0 t + 1\right) = 0,$$

$$t_{1,2} = \frac{2 \pm \sqrt{2}}{\omega_0},$$

$$I_{min,max} = K\omega_0^2 e^{-2\mp\sqrt{2}}\left(\sqrt{2} \pm 1\right),$$

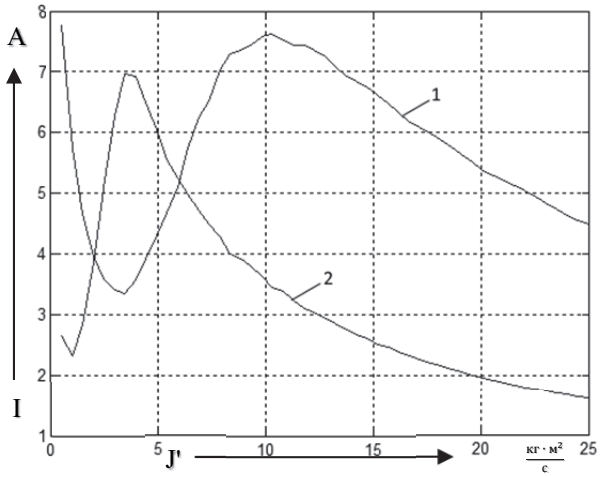
$$I_{min,max} \propto \omega_0^2.$$

Предпримем попытку ввести простую зависимость ω_0 от J'. Сделаем допущение, что график 1 на рисунке 3 линеен, тогда:

$$\omega_0 = \frac{k}{\sqrt{J'+C}} w_0, \quad (1)$$

где w_0 – фиксированное значение ω_0, при котором изначальная система имеет наибольшее быстродействие без выхода за разрешённые значения тока; J' – скорость роста момента инерции; k – коэффициент подстройки масштаба; C – коэффициент подстройки сдвига.

При $k = 3{,}9$ и $\mathrm{C} = 15$ зависимость тока от скорости роста момента инерции представлена на рисунке 4.



1 – Максимум тока; 2 – Минимум тока

Рисунок 4 – Значения экстремумов тока при подстройке ω_0

Анализ представленных на рисунке 4 зависимостей показывает, что амплитуды экстремумов тока находятся в условно закрытой области, соответствующей значению тока якоря двигателя в 8 А.

В работе выявлены связи амплитуды экстремума тока с коэффициентом быстродействия ω_0 и скоростью роста момента инерции J'. Определена функциональная зависимость пиковых токов от ω_0. Поиск функциональной зависимости для J' остаётся открытым для исследования. Подобрана функциональная связь ω_0 со скоростью изменения момента инерции, сохраняющая пиковый ток в условно закрытой области. Следующим логическим шагом является введение дополнительного требования: хотя бы один из экстремумов должен находиться близко к границе области для достижения наибольшего быстродействия в рамках разрешённого тока. Реализация этого требования возможна при выявлении функциональной зависимости пиковых токов от J'.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Минебаев, Н.Л. Вычисление моментов инерции звеньев промышленного робота в процессе его движения / Н.Л. Минебаев, А.И. Горькавый // Молодёжь и наука: : актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы VII Всерос. нац. науч. конф. молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2024 г.: в 3 ч. / А. В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2024. – Ч. 1. – 205-207 с.

2. Минебаев, Н.Л. Исследование влияния временной задержки идентификатора момента инерции в мехатронном модуле с адаптивным модальным регулятором / Н.Л. Минебаев, А.И. Горькавый // наука, инновации и технологии: От идей к внедрению: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых Комсомольск-на-Амуре, 11-12 декабря 2024 г. в 2 ч. / А. В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2024. – Ч. 1. – 248-251 с.

3. Горькавый, А. И. Математические основы элементов, систем и процессов управления / А. И. Горькавый, М. А. Горькавый. – Комсомольск-на-Амуре, КнАГУ, 2016. – 72 с.

УДК: 681.5.01: 519.876.5

Никонова Дарья Павловна, студент, Комсомольский–на–Амуре государственный университет

Nikonova Daria Pavlovna, student, Komsomolsk–na–Amure State University

Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель Центра робототехники Ресурсного центра Технопарка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyev Dmitriy Olegovich, senior lecturer, head of the Center for robotics of the Resource center of the Technopark of Komsomolsk-on-Amur State University

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

OVERVIEW OF DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS APPLICATION IN INDUSTRY

Аннотация. В статье был проведён анализ применения систем с распределённым управлением в промышленности. Были рассмотрены основные принципы функционирования таких систем, их преимущества и недостатки, и области применения. Уделено внимание таким аспектам: повышение эффективности производства, улучшение качества продукции и снижение затрат. Также в статье привелись примеры реализации распределенных систем в различных отраслях промышленности: нефтегазовая, энергетическая, химическая. Описан российский программно–аппаратный комплекс «Силарон».
Abstract. The article analyzes the application of distributed control systems in industry. The basic principles of functioning of such systems, their advantages and disadvantages, and areas of application were considered. Attention was paid to such aspects as increasing production efficiency, improving product quality and reducing costs. The article also gave examples of distributed systems realization in different industries: oil and gas, energy, chemical. The Russian software and hardware complex "Silaron" is described.
Ключевые слова: Распределённые системы управления, промышленная автоматизация, эффективность производства, нефтегазовая промышленность, энергетика.
Key words: Distributed control systems, industrial automation, production efficiency, oil and gas industry, energy.

Всё чаще современные процессы автоматизируются с помощью распределённых систем управления (далее РСУ), что приводит к развитию передовых технологий, использующихся в самых разных отраслях, и позволяющих эффективно контролировать управление производством. В статье рассмотрены примеры работы РСУ, положительные стороны их использования и востребованность в настоящее время. РСУ могут обеспечить точный, стабильный и легко адаптируемый контроль над производственными операциями при помощи применения независимых контроллеров, объединённых в единую сеть.

Актуальность темы обусловлена растущим спросом на эффективные решения для управления сложными производственными процессами, а также необходимостью повышения безопасности и надёжности работы промышленных объектов. РСУ предлагают ряд преимуществ, таких как повышение производительности, экономия ресурсов, удобство управления и возможность масштабирования, что делает их привлекательным выбором для многих предприятий.

Однако, несмотря на многочисленные преимущества, РСУ также имеют свои недостатки, связанные с сложностью разработки, обслуживания и обеспечения безопасности. Поэтому важно провести комплексный анализ всех аспектов использования РСУ, чтобы определить их потенциал и ограничения в различных условиях.

РСУ построены на многокомпонентной архитектуре, управление процессами в которой распределяется между несколькими узлами, каждый из которых ответственен за свою функцию, но взаимодействующих друг с другом посредством общей сети. Такая система позволяет обеспечить высокую отказоустойчивость и возможность масштабирования. Пример системы приведён на рисунке 1 [1].

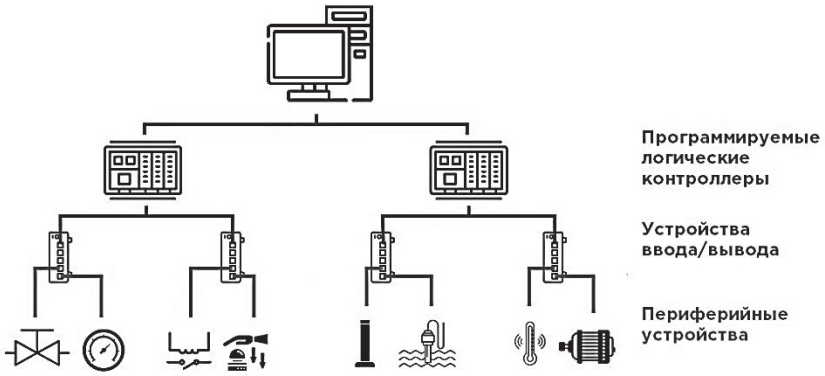


Рисунок 1 – Пример структурной схемы РСУ

Из достоинств применения РСУ можно выделить несколько категорий. Первое – увеличение производительности, основанное на внедрении автоматизации и оптимизации процесса, позволяющее увеличить выпуск единиц продукции. Вторым можно выделить – экономию ресурсов, так как взаимосвязанная работа частей системы позволяет пользователям эффективно обмениваться ресурсами и использовать их в разных местах единовременно. Так же, снижаются расходы на поддержание и использование оборудования. Повышение производительности создаётся благодаря параллельной обработке информации, увеличивающей скорость работы и сокращающей временные задержки, так как запросы обрабатываются с ближайших географических узлов. Четвёртым можно выделить удобство управления, так как РСУ предоставляют возможность удалённого контроля и управления техническими процессами. Так же дают возможность горизонтального масштабирования и балансировки нагрузки, вследствие внедрения дополнительных узлов и распределения нагрузки между несколькими рабочими серверами. Если говорить об общем удобстве использования, можно выделить следующее – резервирование и аварийное переключение гарантируют сохранность информации в случае аварийной ситуации. Модульная конструкция позволяет изменять систему без остановки работы, что позволяет внедрять обновления. Так же можно вывести экономическую эффективность. Использование стандартного оборудования, позволяет избежать затраты на часть специализированных систем. РСУ предоставляет возможность динамического распределения ресурсов в зависимости от целенаправленных задач, что потенциально снижает эксплуатационные расходы. [2]

Не смотря на ряд достоинств, у РСУ есть и недостатки. Например, трудность разработки и сложность обслуживания системы, так как для создания корректно работающей системы требуется приложить больше навыков проектирования и администрирования. Вследствие распределённого характера работа по отладке и обслуживанию системы могут быть затруднены. Так же, можно выделить, сетевые проблемы, так как при наличии сетевых сбоев, задержек и разных уровней согласованности данных, могут возникнуть проблемы с синхронизацией и наличием устаревшей информации. В третьих, актуальны проблемы безопасности. Появляется повышенная значимость шифрования информации и сложность с аутентификацией и авторизацией в распределённых компонентах. Соображения по затратам – долгосрочная задержка при настройке и обслуживании РСУ, может привести к расходам связанным с оборудованием, программным обеспечением и сетям. Расходы на управление, администрирование и мониторинг могут быть выше, чем при использовании централизованных систем. И, один из самых важных недостатков – нарушение целостности данных. Задержка репликации между узлами может привести к потере информации или получению устаревших данных. Так же могут возникнуть трудности при разрешении конфликтов данных, образующихся при одновременном обновлении.

Системы распределенного управления находят широкое применение в автоматизированных системах управления (далее АСУ) и автоматизированных системах управления технологическими процессами (далее АСУТП) в различных отраслях промышленности, включая химическую, нефтегазовую, электроэнергетику и другие. Обычно, компоненты РСУ, расположенные на удалении, выполняют функции сбора, обработки и передачи данных в центральный компьютер. Этот компьютер анализирует полученную информацию,

определяет необходимые управляющие воздействия и передает их на исполнительные устройства. Для управления сложными удаленными объектами часто используются локальные контроллеры. Эти контроллеры представляют собой автономные системы управления, способные функционировать даже при отсутствии связи с центральным компьютером [3].

Разберём подробнее, какими процессами может управлять РСУ в различных отраслях промышленности:

– нефтегазовая промышленность – управление процессами добычи, переработки и транспортировки нефти и газа;

– энергетика – управление электростанциями и системами распределения электроэнергии;

– химическая промышленность – управление технологическими процессами и обеспечением безопасности;

– промышленное производство – автоматизация сборочных линий и управления качеством продукции.

Одним из примеров успешной реализации РСУ является их внедрение на нефтегазовых предприятиях. Системы позволили повысить эффективность добычи, снизить затраты и улучшить безопасность. Аналогичные результаты были достигнуты в энергетической отрасли, где РСУ обеспечили более стабильное и эффективное распределение электроэнергии. Ярким примером отечественной разработки является – ПАК «Силарон», разработанный в 2024 году. Это российская отказоустойчивая платформа для АСУ ТП [4], особенностями которой является поддержка ключевых промышленных протоколов (OPC UA, Modbus, ProfiBus и др.), а применение направлено на различные области промышленности.

Распределённые системы управления представляют собой эффективное решение для автоматизации и оптимизации производственных процессов в различных отраслях промышленности. Они позволяют повысить производительность, сэкономить ресурсы, обеспечить удобство управления и возможность масштабирования.

Несмотря на некоторые недостатки, такие как сложность разработки и обслуживания, РСУ продолжают завоёвывать популярность благодаря своей гибкости и возможности адаптации к изменяющимся условиям. В будущем можно ожидать дальнейшего развития и совершенствования РСУ, что сделает их ещё более привлекательными для предприятий, стремящихся к повышению эффективности и конкурентоспособности.

РСУ найдут своё применение в новых проектах по автоматизации промышленных объектов, в разработке инновационных решений для управления сложными технологическими процессами и в создании более надёжных и безопасных систем. Их использование будет способствовать дальнейшему развитию промышленности и повышению качества продукции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов А.А. Модернизация промышленных предприятий на базе современных систем автоматизации и управления : учебное пособие для вузов по направлениям 15.04.04 "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" и 15.04.05 "Автоматизация технологических процессов и производств"(машиностроение). - ISBN 978-5-91134-950-9 изд. - Форум, 2018. - 383 с.

2. Прахова М. Ю., Хорошавина Е. А., Краснов А. Н., Емец С. В. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. - ISBN 978-5-9729-0362-7 изд. - Москва ; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. - 304 с.

3. Н. Захаров. СнК "Миландр" в распределенных сетевых системах управления ДЛЯ ответственных применений / В. Клепиков, Д. Подхватилин [и др.] // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2013. – № 4(126). – С. 064-071. – EDN QCNFDZ.

4. Силарон // TI Интеграция URL : https://t1-integration.ru/product/silaron/?ysclid=m9bl3tkcd3614398596 (дата обращения: 01.04.2025).

УДК 681.5
Носков Антон Олегович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Noskov Anton Olegovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Егоров Владислав Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Egorov Vladislav Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Electric drive and automation of production plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА ЗАДАТЧИКА «ДЕНЬ-НОЧЬ» ДЛЯ ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

DEVELOPMENT OF A DAY-NIGHT CONTROLLER FOR AN INFRARED HEATING SYSTEM

Аннотация. Предложен алгоритм формирования температуры задания в функции времени для инфракрасной отопительной системы. Система содержит задатчик температуры и контур регулирования температуры инфракрасного отопительного прибора. Приведено описание программной реализации алгоритма формирования температуры задания на языке функциональных блоков, в среде программирования CoDeSys. Представлен график изменения температуры в функции времени на выходе задатчика.
Abstract. An algorithm for generating a temperature setpoint as a function of time for an infrared heating system is proposed. The system contains a temperature setpoint controller and a temperature control circuit for an infrared heating device. A description of the software implementation of the temperature setpoint controller algorithm is given in the language of functional blocks, in the CoDeSys programming environment. A graph of temperature change as a function of time at the setpoint controller output is presented.
Ключевые слова: инфракрасная система отопления, задатчик температуры, промышленный контроллер, язык функциональных блоков, CoDeSys.
Key words: infrared heating system, temperature controller, industrial controller, function block language, CoDeSys.

Одним из направлений повышения энергоэффективности современных систем отопления зданий и сооружений является применение инфракрасных отопительных приборов. Энергоэффективность увеличивается за счет того, что инфракрасные обогреватели нагревают объекты, а не воздух в помещении, что позволяет экономить энергию до 2-2.5 раз и достигать быстрого результативного обогрева, по сравнению с традиционной паровой системой отопления. Еще большей экономии энергоресурсов можно добиться, применением замкнутых систем регулирования температуры инфракрасных отопительных приборов, с регулированием температуры по расписанию. Например, понижая температуру в общественных зданиях в ночное время. Для реализации такого режима работы системы отопления необходим задатчик температуры, описываемый в статье.

В статье предложен алгоритм формирования температуры заданния в функции времени для инфракрасной отопительной системы. Приведено описание программной реализации алгоритма формирования температуры задания на языке функциональных блоков, в среде программирования CoDeSys. Представлен график изменения температуры в функции времени на выходе задатчика.

Согласно [1], допустимая температура в техническом помещении в зимнее время должна составлять не менее 18°С. Примем это значение, как уставку стабилизации в дневное время. За дневной интервал, возьмем время наиболее вероятного нахождения людей в помещении – с 7 часов утра, до 19 часов вечера. Время суток не вошедшее в этот интервал будем считать ночным. В связи с отсутствием людей в помещении в ночное время, переведем систему в режим экономии энергии, снизив температуру до 14°С.

Программная реализация устройства, вычисляющего температуру задания, в соответствии с описанными выше правилами, с циклом в 24 часа, показана на рисунке 1. Код выполнен в среде программирования CoDeSys V2, на языке функциональных блоков [2; 3].

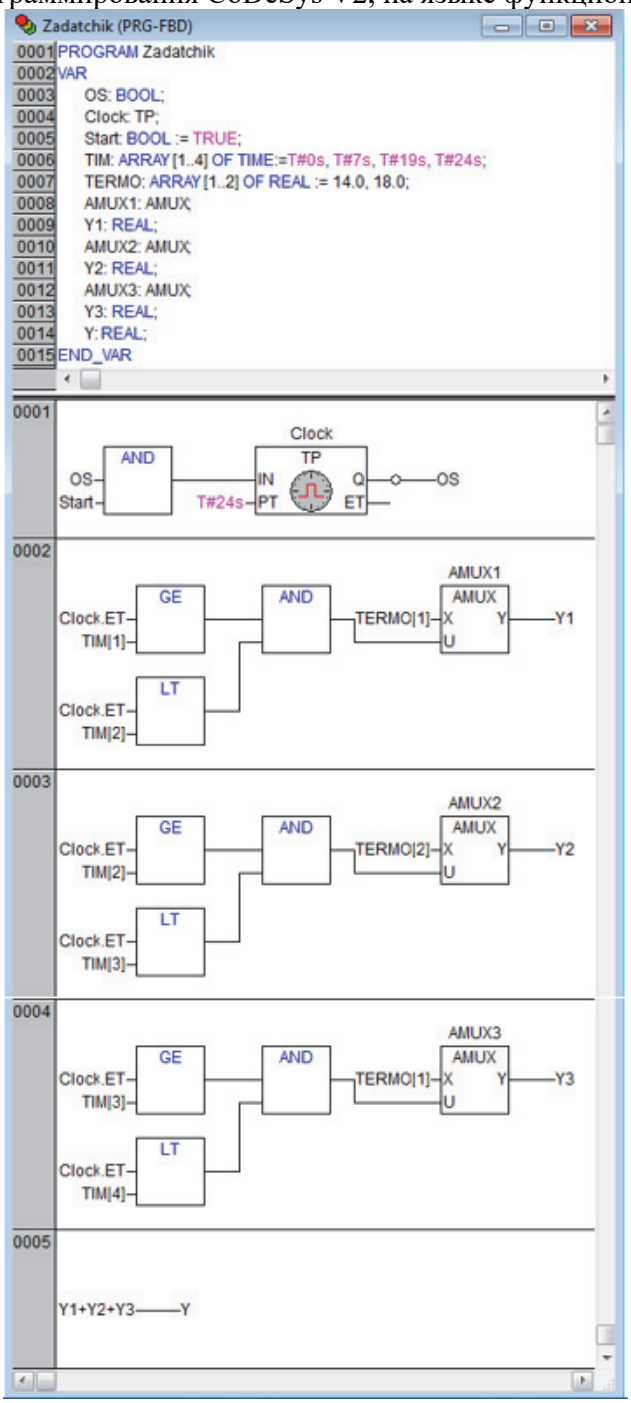


Рисунок 1 – Код задатчика на языке функциональных блоков

Границы интервалов времени заданы в массиве TIM. Требуемые уставки температуры хранятся в массиве TERMO. Устройство, циклически задающее временные интервалы в 24 часа реализовано на таймере Clock, в ринге 1. Как только Clock завершает отсчет интервала, его выход Q переключается из состояния TRUE в состояние FALSE. Этот задний фронт инвертируется выходной инверсией таймера Clock и превращается в передний фронт сигнала OS, поступающего на вход IN, и перезапускающего таймер.

Интервал времени 0-24 разбит на 3 подинтервала 0-7, 7-19 и 19-24. Эти интервалы реализуются рингами 2, 3 и 4 соответственно. Например, в ринге 2 значение TERMO[1] поступает на выход задатчика, если текущее время Clock.ET попадает в интервал Clock.ET>= TIM[1] AND Clock.ET< TIM[2]. Аналогично, в ринге 3 выходной сигнал Y равен значению

TERMO[2], если текущее время Clock.ET попадает в интервал Clock.ET>= TIM[2] AND Clock.ET< TIM[3]. И наконец, в ринге 4 – Y= TERMO[1], если Clock.ET>= TIM[3] AND Clock.ET< TIM[4].

На рисунке 2 показан выходной сигнал Y программного компонента Zadatchik.

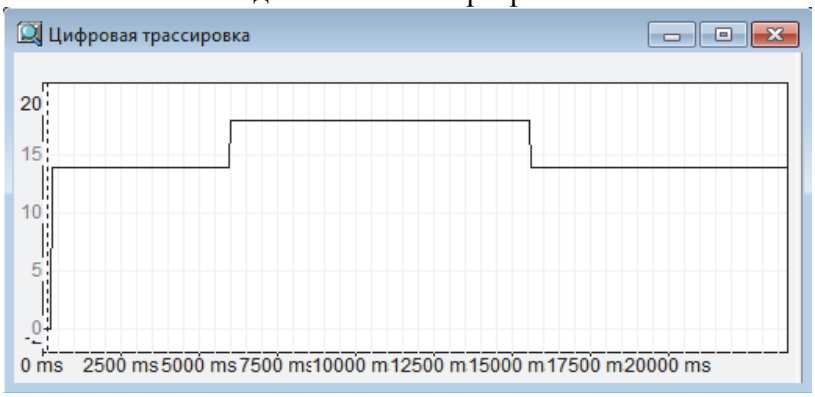


Рисунок 2 – Выходной сигнал задатчика температуры

Из рисунка 2 следует, что программный компонент Zadatchik формирует температуру задания:

14°C на временном интервале 0-7 с;

18°C на временном интервале 7-19 с;

14°C на временном интервале 19-24 с.

Из рисунков 1 и 2 видно, что временной циклический интервал отмасштабирован (для удобства отладки). Одна секунда соответствует одному часу. В реальной системе следует задать на вход Clock.PT значение T#24h.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что разработанный задатчик графика температур свою функцию выполняет.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс] // URL: https://rkc56.ru/documents/4538 (Дата обращения: 23.03.2025).

2. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Практическое применение языков стандарта МЭК 61131-3 / И.В. Петров – Москва : СОЛОН - Пресс, 2003 – 256 с

3. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys V2.3 [Электронный ресурс] // URL: https://owen.ru/product/codesys_v2 (Дата обращения: 23.03.2025).

УДК 621.389

Пизелкин Иван Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pizelkin Ivan Mikhailovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Любушкина Надежда Николаевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомоль-ский-на-Амуре государственный университет

Liubushkina Nadezhda Nikolaevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MONITORING THE CONCENTRATION OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE ATMOSPHERE

Аннотация. Данная статья посвящена разработке системы мониторинга концентрации вредных веществ в атмосфере, которая в будущем позволит отображать данные о состоянии, оперативно информировать об изменении состояния окружающей среды, принимать

меры по улучшению общей экологической картины. Это социальный проект, он нацелен не на контроль работы промышленных предприятий и объектов, а на социальные слои общества, для повышения общей гражданской грамотности.

Abstract. This article is devoted to the development of a system for monitoring the concentration of harmful substances in the atmosphere, which in the future will allow displaying status data, promptly informing about changes in the state of the environment, and taking measures to improve the overall environmental picture. This is a social project, it is aimed not at monitoring the work of industrial enterprises and facilities, but at social strata of society, to improve general civic literacy.

Ключевые слова: система мониторинга, датчики, социальный проект, экология, гражданская грамотность.

Key words: monitoring system, sensors, social project, ecology, civic literacy.

В последние десятилетия проблема загрязнения атмосферы стала одной из самых острых и актуальных в глобальном масштабе. Увеличение объемов промышленного производства, рост автотранспорта, а также нерациональное использование природных ресурсов привели к значительному ухудшению качества воздуха в городах и промышленных зонах. По данным Всемирной организации здравоохранения, миллионы людей ежегодно умирают из-за последствий воздействия загрязненного воздуха.

Вредные вещества, такие как диоксид серы (SO^2), оксиды азота (NOx), угарный газ (CO), твердые частицы и летучие органические соединения, оказывают негативное воздействие на экосистемы и здоровье человека. Долговременное воздействие этих веществ может приводить к хроническим заболеваниям, аллергическим реакциям и другим серьезным проблемам со здоровьем. Поэтому разработка эффективных систем мониторинга концентрации вредных веществ в атмосфере является необходимым шагом для защиты здоровья населения и окружающей среды.

Цель данной работы заключается в разработке системы мониторинга концентрации вредных веществ в атмосфере, которая будет способна обеспечить надежное и своевременное получение данных о состоянии воздуха. По ходу работы будет проведен анализ современных технологий и предложены решения для создания эффективной системы, учитывающей специфику загрязняющих веществ и условия эксплуатации. Ожидается, что результаты работы могут быть использованы как для научных исследований, так и для практического применения в области охраны окружающей среды и здоровья населения. Первостепенная задача – разработать устройство сбора информации о состоянии датчиков. Датчики должны удовлетворять не только диапазонам измерения вредных концентраций, но и наличием устойчивости к тем или иным условиям внешней среды, таким как низкая температура или повышенная влажность [1].

Система мониторинга качества воздуха – это система, которая отслеживает текущее состояние атмосферы и собирает данные. Система предназначена для измерения и анализа концентрации вредных веществ в атмосфере с целью защиты здоровья населения и окружающей среды. Основа системы – посты, оснащённые газовыми сенсорами и анализаторами пыли. Они непрерывно собирают данные о концентрациях примесей и выводят их в виде числовых значений на визуальные источники информации, которыми могут быть как матричные экраны, так и в дальнейшем любое мобильное устройство [1]. Разработка любого проекта, прежде всего, стартует с представления мысленной концепции далее плавно перетекающую в структурную схему проявляющую взаимосвязь между всеми элементами, находящимися в проекте. В состав данной структурной схемы входит: ряд датчиков для контроля показателей тех или иных веществ в атмосфере/помещении, микроконтроллер, блок управления, и дисплея для вывода данных.

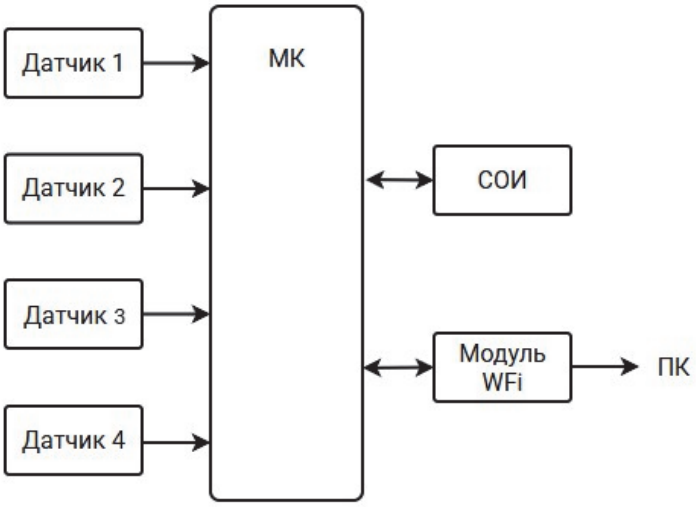


Рисунок 1 – Структурная схема проекта

Основой системы служит микроконтроллер. Выбран микроконтроллер ATmega328P-PU, он должен работать как с аналоговыми, так и с цифровыми сигналами. Данный микроконтроллер обладает высокой скоростью обработки информации, при подключении всех сигналов от датчиков свободными останутся три порта, что позволит подключить необходимую систему отображения информации, а при необходимости нарастить структуру датчиков [2; 3]. Выбор датчиков должен основываться, опираясь на вещества за которыми должен производиться мониторинг, датчики обладают как аналоговыми выходами, так и цифровыми, это позволит не только узнавать концентрацию газов, но устанавливать «барьеры» после преодоления, которых датчик будет оповещать систему об опасном уровне веществ в атмосфере.

Датчик 1 – датчик DHT11 для изменения температуры и влажности окружающей среды. Имеет достаточно широкий диапазон измерения параметров. Датчик необходим как вспомогательный, он будет привлекать внимание населения.

Датчик 2 – полупроводниковый газовый датчик MQ6 для обнаружения и измерения концентраций пропана и углеводородных соединений в воздухе. Диапазон измерения от 100 до 10000 ppm, выходной сигнал с датчика аналоговый. Наличие целевого газа на поверхности сенсора датчика изменяет его сопротивление, что отражает концентрацию газа в воздухе.

Датчик 3 – полупроводниковый газовый датчик MQ8 предназначен для обнаружения водорода в атмосфере, диапазон измерения от 100 до 10000 ppm, выходной сигнал с датчика аналоговый.

Датчик 4 – полупроводниковый газовый датчик MQ9, предназначен для обнаружения утечек метана и углеводородных соединений, диапазон измерения от 500 до 10000 ppm, выходной сигнал с датчика аналого-цифровой.

Для визуального отображения полученных измерений, была выбрана система отображения информации (СОИ). В нашем случае это светодиодные панели, соединённые в экран. Для привлечения внимания к изменению параметров система будет снабжена громкоговорителем, который будет включаться в случае превышения установленной нормы концентрации веществ [4].

Собранные данные по GSM каналу будут передаваться на персональный компьютер, и далее на сервер, где будет собрана посуточная база данных за период работы системы [4].

Система мониторинга концентрации вредных веществ в атмосфере является проектом, выполняемым в рамках взаимодействия с социальным партнером Комсомольская-на-Амуре городская общественная организация развития благоустройства и самоуправления «ГРАДОСФЕРА». Система поможет контролировать окружающую среду, послужит основой для разработки эффективных стратегий по улучшению качества воздуха. Благодаря своевременному обнаружению вредных выбросов, появляется возможность быстро прини-

мать меры по минимизации ущерба, и устранения их первоначального источника. В условиях глобальных экологических вызовов такая система становится необходимым инструментом для обеспечения устойчивого развития и сохранения здоровья будущих поколений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кюрджиев, Ю. В. Измерение физических величин. Системы сбора данных : учебное пособие / Ю. В. Кюрджиев, А. В. Чернышев. - Москва : МГТУ им. Баумана, 2016. - 56 с. - ISBN 978-5-7038-3885-3. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1946523 (дата обращения: 08.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

2. Водовозов, А. М. Микроконтроллеры для систем автоматики : учебное пособие / А. М. Водовозов. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 168 с. - ISBN 978-5-9729-1071-7. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1903136 (дата обращения: 08.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

3. Морохин, Д. В. Микропроцессорные системы на основе микроконтроллеров STM32 : лабораторный практикум / Д. В. Морохин, В. И. Мясников, А. В. Иванов. - Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2023. - 112 с. - ISBN 978-5-8158-2334-1. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2131740 (дата обращения: 08.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

4. Петин, В. А. Практическая энциклопедия Arduino : практическое руководство / В. А. Петин, А. А. Биняковский. - 2-е изд., доп. - Москва : ДМК Пресс, 2020. - 166 с. - ISBN 978-5-97060-798-5. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2009664 (дата обращения: 10.04.2025). – Режим доступа: по подписке.

УДК 681.5

Прохоров Роман Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Prokhorov Roman Yuryevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кателкин Артем Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Katelkin Artem Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Егоров Владислав Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Egorov Vladislav Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Electric drive and automation of production plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЯЧЕЙКИ СКЛАДА МЕХАНОСБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CELL MANAGEMENT SYSTEM FOR A MECHANICAL ASSEMBLY WAREHOUSE

Аннотация. В статье предложен алгоритм управления роботом-штабелером для автоматизации складской ячейки механосборочного производства. Рассмотрена программная реализация системы, включая обработку данных датчиков и формирование управляющих сигналов. Приведен фрагмент кода, демонстрирующий логику позиционирования груза. Разработанное решение позволяет минимизировать ручной труд и повысить точность выполнения складских операций.

Abstract. The article proposes an algorithm for controlling a robot stacker for automatization of a warehouse cell of a mechanical assembly plant. The software implementation of the system is considered, including the processing of sensor data and the generation of control signals. A code

fragment is provided that demonstrates the logic of cargo positioning. The developed solution makes it possible to minimize manual labor and increase the accuracy of warehouse operations.
Ключевые слова робот-штабелер, автоматизация склада, алгоритм управления, управляющая программа, датчики положения, позиционирование груза, механосборочное производство, погрузочно-разгрузочные системы.
Keywords robot-stacker, warehouse automation, control algorithm, control program, position sensors, cargo positioning, mechanical assembly, loading and unloading systems.

Особенностью современного механосборочного производства является большой ассортимент комплектующих. Существенного повышения эффективности производства можно добиться, автоматизацией складских и логистических операций в пределах предприятия. Основными складскими операциями являются погрузо-разгрузочные работы и поиск комплектующих.

Для оптимизации погрузо-разгрузочных операции, в автоматизированном складе применяют роботы-штабелеры. Существуют различные варианты конструкций роботов-штабелеров, например, в виде автономного транспортного погрузчика, или стеллажного приспособления. Они позволяют заменить ручную погрузку, работой автоматизированных погрузочно-разгрузочных систем.

Грузоподъемность таких систем, изменяется в диапазоне от 50 до 1000 кгс. А габариты грузов, как правило имеют линейные размеры от 100х100 до 800х1200 мм.

Робот-штабелер, в рассматриваемом случае, представляет из себя тележку (рисунок 1), перемещающуюся по горизонтали, по монорельсу на полу склада, вдоль стеллажа. Тележка оснащена вертикальным краном с подвижной кареткой. Такое оборудование имеет датчики текущего положения всех его составных частей, а также датчики аварийных ситуаций. Это позволяет автоматизировать работу робота-штабелера. В данной статье представлен вариант решения задачи автоматизации ячейки склада механосборочного производства с роботом-штабелером. Описан обобщенный алгоритм управления роботом. Приводится фрагмент кода управляющей программы. Разработана мнемосхема панели оператора, используемая для управления и отладки проекта.

Для создания эффективной системы управления роботом-манипулятором, работающим вдоль стеллажей склада, необходим анализ особенностей его механики и управления. Робот имеет две основные степени свободы: перемещение вдоль стеллажей (горизонтальное) и вертикальное движение. Дополнительно, механизм захвата обеспечивает перемещение вглубь ячейки. Общий вид автоматизированной ячейки склада изображён на рисунке 1.

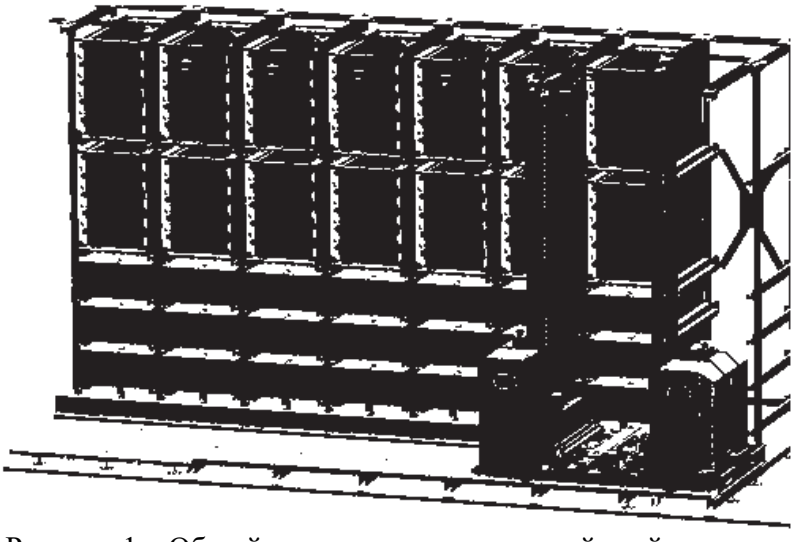


Рисунок 1 – Общий вид автоматизированной ячейки склада

Система управления использует массив данных о состоянии каждой ячейки (занята или свободна), а также массив свободных ячеек для оптимизации процесса размещения грузов.

На рисунке 2 показана укрупнённая блок-схема алгоритма функционирования робота-штабелера.

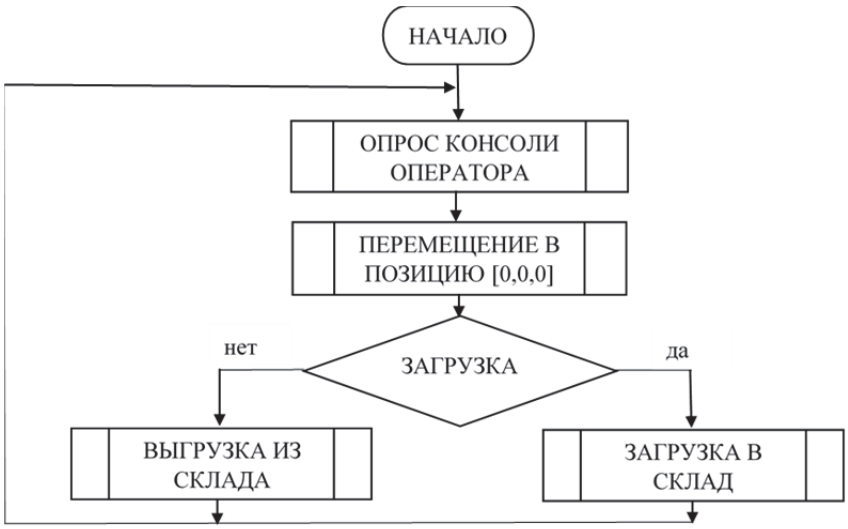


Рисунок 2 – Укрупнённая блок-схема алгоритма функционирования робота-штабелера

Фрагмент программной реализации кода программы управления роботом приведен на рисунке 3, 4. Код выполнен в среде программирования CoDeSys V2, на языке структурированного текста [2; 3].

Данный подход позволяет эффективно управлять перемещениями робота-манипулятора и обеспечивает выполнение задач по перемещению грузов в складском пространстве.

```
CASE state OF
  INIT_CHECK: (* Проверка начальной позиции *)
    IF (current_x <> 0) OR (current_y <> 0) OR (current_z <> 0) THEN
      (* Запуск возврата в ноль *)
      target_x := 0;
      target_y := 0;
      state := MOVE_X_BACK;
    ELSE
      state := WAIT_INPUT;
    END_IF

  WAIT_INPUT: (* Ожидание ввода данных *)
    OperationActive := FALSE;
    IF StartBtn AND (target_x BETWEEN 1 AND 4) AND (target_y BETWEEN 1 AND 4) THEN
      state := MOVE_X;
      OperationActive := TRUE;
    END_IF

  MOVE_X: (* Движение по X *)
    CellBorder[prev_x_pos, prev_y_pos] := FALSE;
    IF current_x <> target_x THEN
      dir_x := target_x > current_x;
      motor_x := tmrSpeed.Q;
      speed_relay_x := ABS(target_x - current_x) <= 1;
      IF dir_x THEN
        current_x := current_x + 1;
      ELSE
        current_x := current_x - 1;
      END_IF
    ELSE
      motor_x := FALSE;
```

```
        state := MOVE_Y;
    END_IF
    CellBorder[current_x, current_y] := TRUE;
    prev_x_pos := current_x;
    prev_y_pos := current_y;

MOVE_Y: (* Движение по Y *)
    IF current_y <> target_y THEN
        dir_y := target_y > current_y;
        motor_y := tmrSpeed.Q;
        speed_relay_y := ABS(target_y - current_y) <= 1;
        IF dir_y THEN
            current_y := current_y + 1;
        ELSE
            current_y := current_y - 1;
        END_IF
    ELSE
        motor_y := FALSE;
        state := EXTEND_Z;
    END_IF

EXTEND_Z: (* Работа с грузом *)
    IF current_z < 1 THEN
        dir_z := TRUE;
        motor_z := TRUE;
    ELSE
        motor_z := FALSE;
        tmrOperation(IN:=TRUE, PT:=T#2s);
        IF tmrOperation.Q THEN
            (* Инвертировать состояние ячейки *)
            CellStatus[target_x, target_y] := NOT CellStatus[target_x, target_y];
```

Рисунок 3 – Фрагмент кода программы управления роботом, на языке структурированного текста

```
            state := RETRACT_Z;
        END_IF
    END_IF

RETRACT_Z: (* Возврат Z *)
    IF current_z > 0 THEN
        dir_z := FALSE;
        motor_z := TRUE;
    ELSE
        motor_z := FALSE;
        state := MOVE_Y_BACK;
    END_IF

MOVE_Y_BACK: (* Возврат Y *)
    IF current_y <> 0 THEN
        dir_y := FALSE;
        motor_y := tmrSpeed.Q;
        IF NOT dir_y THEN
            current_y := current_y - 1;
        END_IF
    ELSE
        motor_y := FALSE;
        state := MOVE_X_BACK;
    END_IF

MOVE_X_BACK: (* Возврат X *)
    IF current_x <> 0 THEN
        dir_x := FALSE;
        motor_x := tmrSpeed.Q;
        IF NOT dir_x THEN
            current_x := current_x - 1;
        END_IF
    ELSE
        motor_x := FALSE;
        state := WAIT_INPUT;
        OperationActive := FALSE;
    END_IF

ERROR_STATE: (* Аварийный режим *)
    motor_x := FALSE;
    motor_y := FALSE;
    motor_z := FALSE;
END_CASE

(* Обновление визуализации *)
CellBackground[0,0] := FALSE; (* Всегда свободная
FOR x := 1 TO 4 DO
    FOR y := 1 TO 4 DO
        CellBackground[x,y] := CellStatus[x,y];
    END_FOR
END_FOR

(* Управление скоростью *)
tmrSpeed(IN:=NOT tmrSpeed.Q, PT:=T#500ms);

(* Обработка сброса *)
IF ResetBtn THEN
    current_x := 0;
    current_y := 0;
    current_z := 0;
    state := INIT_CHECK;
END_IF
```

Рисунок 4 – Фрагмент кода программы управления роботом, на языке структурированного текста

При разработке системы управления роботом-манипулятором склада, разработан алгоритм управления движением робота при перемещении грузов. Проведены тесты работы системы управления. Результаты показали работоспособность предложенных алгоритмов работы робота. Это позволяет использовать данные алгоритмы для решения задачи автоматизации склада. Разработанная система управления может послужить прототипом реальной системы управления складским комплексом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Штабелер робот [Электронный ресурс] // URL: https://skyg.ru/vidy-shtabelerov /shtabeler-robot/ (Дата обращения: 23.03.2025).

2. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Практическое применение языков стандарта МЭК 61131-3 / И.В. Петров – Москва : СОЛОН - Пресс, 2003 – 256 с

3. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys V2.3 [Электронный ресурс] // URL: https://owen.ru/product/codesys_v2 (Дата обращения: 23.03.2025).

УДК 62.545

Пухов Алексей Александрович, аспирант, «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Puhov Alexey Alexandrovich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Черный Сергей Петрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой ЭПАПУ, «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Cherniy Sergey Petrovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department EDAII, Komsomolsk-na-Amure State University

ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИ РАБОТЕ НА ЧАСТИЧНОЙ НАГРУЗКЕ И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

A POSSIBLE APPROACH TO CONTROLLING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE AT PARTIAL LOAD AND EVALUATING ITS EFFECTIVENESS

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема повышения эффективности работы ДВС в составе дизель-генераторной электростанции при её работе на режиме частичных нагрузок. На основе ранее предложенного способа управления и результатах численного моделирования различных режимов работы ДВС в программном комплексе «РК-Дизель», получено математическое выражение, позволяющее находить эффективность работы ДВС в зависимости от материально-энергетических параметров топливно-воздушной смеси. Анализом полученной математической зависимости показана возможность снижения удельного расхода топлива на выработку электроэнергии дизель-генераторной электростанцией до 6,8% при её загрузке в 40%.

Abstract. This article discusses the problem of increasing the efficiency of an internal combustion engine as part of a diesel generator power plant when operating under partial load conditions. Based on the previously proposed control method and the results of numerical modeling of various modes of operation of the internal combustion engine in the RK-Diesel software package, a mathematical expression was obtained that makes it possible to find the efficiency of the internal combustion engine depending on the material and energy parameters of the fuel-air mixture. The analysis of the obtained mathematical dependence shows the possibility of reducing the specific fuel consumption for generating electricity by a diesel generator power plant to 6.8% at its 40% load.

Ключевые слова: ДВС, методы регулирования, дизельная электростанция, повышение эффективности, частичные нагрузки.

Key words: ICE, regulation methods, diesel power station, increased efficiency, partial loads.

Выход двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на режим частичной нагрузки характеризуется падением эффективности преобразования химической энергии топлива в меха-

ническую энергию на валу. Данная проблема является известной и хорошо изученной [1-2]. Тем не менее, несмотря на значительное количество существующих решений, большая часть из них предусматривает внесение существенных изменений в конструкцию двигателя, что накладывает ограничения на их применение в условиях устоявшихся основ двигателестроения [3], имеющихся практических наработок, а также наличия большого парка не модернизированных двигателей, находящихся в работе. Эта проблема особенно актуальна при рассмотрении дизельных электростанций, которые, вынуждены существенную часть времени находится на режимах частичной мощности, из-за чего удельный расход на выработку электроэнергии оказывается повышенным относительно номинального режима, что не может сказаться на стоимости электроэнергии для конечного потребителя её, в лице которого чаще всего выступают жители удалённых от сетей централизованного электроснабжения поселений. В данной статье рассмотрен способ управления ДВС в составе дизельной генераторной электростанции, а также дана оценка его эффективности.

Считается, что снижение эффективности преобразования энергии ДВС при снижении нагрузки складывается из совместного влияния множества факторов, при изучении укрупнённых категорий которых, среди наиболее значимых следует выделить два основных, связанных с изменением химической кинетики процессов сгорания внутри ДВС [4].

Во-первых, при переходе ДВС на сниженную нагрузку, как известно [5], происходит рост коэффициента избытка воздуха. Это означает не только то, что сжигание топлива становится менее эффективным из-за роста концентрации кислорода в топливно-воздушной смеси (ТВС) и, как следствие, изменения в кинетике сгорания при отклонении от стехиометрических концентраций, но и то, что растёт доля инертных компонентов, газов, в ТВС, таких как, например, азот. В результате этого объём продуктов сгорания, покидающих ДВС в ходе такта выпуска, растёт, а вместе с ним растёт и количество уходящего тепла, что сказывается на ухудшении эффективности преобразования энергии.

Во-вторых, изменение нагрузки ДВС сказывается и на энергетических параметрах ТВС. Так, в случае применения газотурбинного наддува, температурные параметры ТВС, образующейся в процессе впуска в ДВС, при снижении нагрузки, оказываются значительно меньше, чем таковые при номинальном режиме работы. Это приводит, опять же, к изменению кинетики протекания процессов сгорания в сторону «растягивания» процесса сгорания по углу поворота коленвала двигателя, из-за чего возникает существенная недовыработка энергии отработавшими газами. Для решения поставленной проблемы ранее был предложен способ управления двигателя внутреннего сгорания [6] путём управления материальными и энергетическими параметрами рабочего тела, в котором предлагалось устанавливать по ходу выпускного тракта ДВС трёхходовые перепускные устройства, которые позволяли бы осуществлять частичный перепуск выхлопных газов двигателя на устанавливаемый на входе в ДВС несмешивающий подогреватель впускного воздуха, чтобы осуществлять управление энергетическими параметрами ТВС, а также осуществлять частичный регулируемый перепуск выхлопных газов минуя турбинную часть турбокомпрессора в выхлопную систему ДВС, для снижения мощности турбины и, как следствие, изменения давления наддува. Принципиальная схема управления по предлагаемому способу указана на рисунке 1 ниже.

На рисунке 1: 1,3 – перепускное устройство (трехходовое); 2 – турбина турбокомпрессора; 4 – двигатель внутреннего сгорания; 5 – не смешивающий подогреватель (теплообменник); 6 – компрессор турбокомпрессора.

Для оценки эффективности предлагаемого способа управления путём анализа результатов численного моделирования различных режимов работы ДВС в программном комплексе «РК-Дизель» было получено математическое выражение, устанавливающее связь между материальными и энергетическими параметрами рабочего тела ДВС и эффективностью преобразования энергии с его помощью:

$$\eta = \left((aT + a1)x^4 + (bT + b1)x^3 + (cT + c1)x^2 + (dT + d1)x + (eT + e1)\right) \cdot (R_1 y^2 + R_2 y + R_3),$$

где x – разряжение на входе во впускной коллектор (по отношению к номинальному давлению), бар; T – температура воздуха на входе в ДВС, К; y – относительная загрузка ДВС; $a, b, c, d, e, a1, b1, c1, d1, e1, R_1, R_2, R_3$ – экспериментально определённые коэффициенты уравнения.

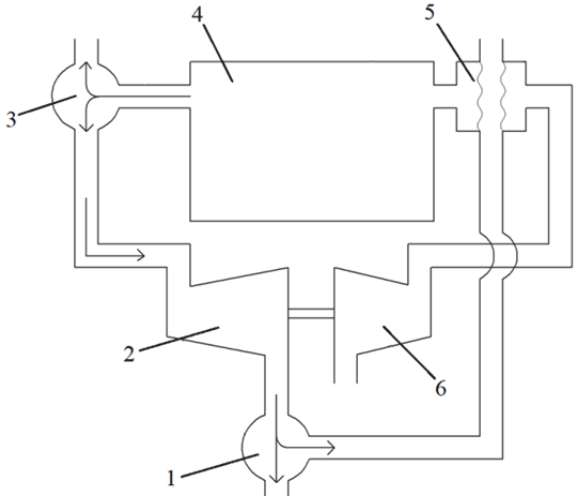


Рисунок 1 – Предлагаемая схема управления материальными и энергетическими параметрами рабочего тела ДВС

По результатам анализа полученного уравнения с учётом ограничений по максимальному пиковому давлению в цилиндрах, а также температур сгорания топлива, для различных режимов были рассчитаны потенциальные значения увеличения эффективности преобразования энергии с помощью ДВС в составе ДГУ при применении предлагаемого способа. Результаты представлены в виде диаграммы на рисунке 2.

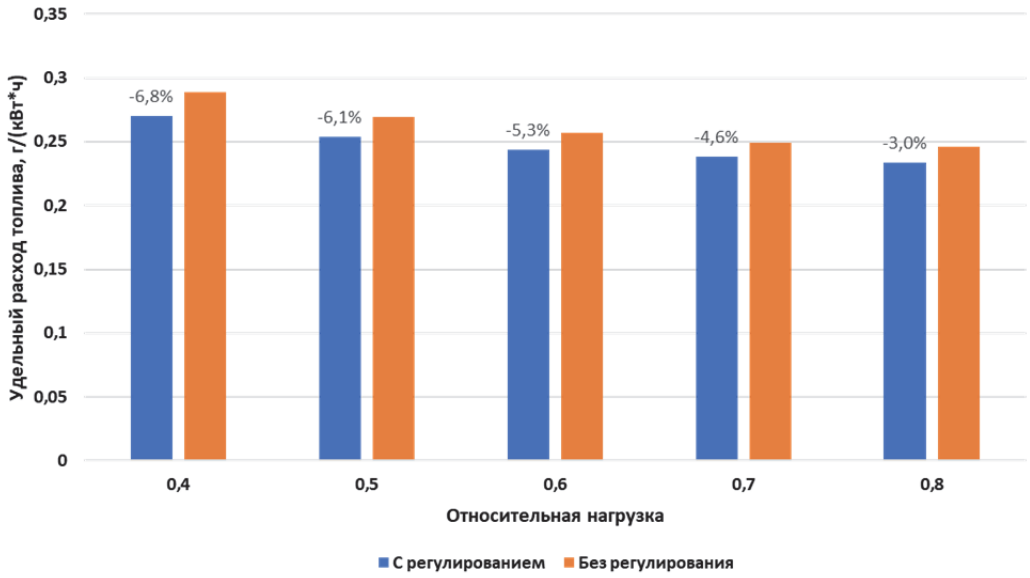


Рисунок 2 – Потенциальное снижение удельного расхода топлива на выработку электроэнергии при применении предлагаемого способа управления

Результаты расчётов показывают, что применение указанного способа регулирования позволяют осуществлять заметную экономию топлива при производстве электроэнергии, которая достигает 6,8 % при относительной нагрузке в 0,4.

На основании приведённых данных можно сделать вывод о том, что применение управления двигателем внутреннего сгорания, работающего по циклу Дизеля, основывающегося на изменении массового расхода поступающего в систему в ходе такта впуска воздуха, а также на изменении температуры этого воздуха, является достаточно эффективным способом снижения удельного расхода топлива на выработку электроэнергии с помощью

дизельных электрических станции, позволяя снижать упомянутый расход до 6,8 % при работе электростанции на частичной нагрузке в 40%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кулешов А.С. Развитие методов расчета и оптимизация рабочих процессов ДВС. Диссертация докт. техн. наук., МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, 2011.-235 с.
2. Определение оптимального распределения мощности нагрузки между дизель-генераторами в дизельной электростанций / Я.С. Гринкруг, В.А. Соловьёв, Ю.И. Ткачёва. - Текст : непосредственный //: Межвузовский сборник научных трудов. - Магнитогорск: МГТУ. - 2006. - С. 168-171.
3. Dahham, R. Y. Improving Thermal Efficiency of Internal Combustion Engines: Recent Progress and Remaining Challenges / R. Y. Dahham, H. Wei, J. Pan // Energies. – 2022. – Vol. 15, No. 17. – P. 6222. – DOI 10.3390/en15176222. – EDN HABQIA.
4. Гринкруг, Я. С. Управление режимами работы дизельных электростанций в автономных сетях электроснабжения: дис. канд. техн. наук. Комсомольск-на-Амуре, 2006. –170 с.
5. Гринкруг, М. С. Существующие способы регулирования работы двигателей дизель-генераторов и возможные пути их совершенствования / М. С. Гринкруг, А. А. Пухов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2022. – № 7(63). – С. 41-51. – DOI 10.17084/20764359-2022-63-41. – EDN JEKHFB.
6. Способ повышения эффективности работы двигателя внутреннего сгорания при его работе на частичных нагрузочных режимах [Текст] : пат. 2024119821 Рос. Федерация : МПК F02V31/04, F02D9/02.

УДК 621.313

Романова Мария Константиновна, студентка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Romanova Maria Konstantinovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Скрипилев Александр Александрович, канд. технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Skripilyov Aleksandr Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk- na-Amure State University

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (АИИС КУЭ) ВНЕДРЕННОЙ В МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ КОМСОМОЛЬСКОГО РАЙОНА

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF USING AN AUTOMATED INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR COMMERCIAL ELECTRICITY METERING (AIIS KUE) IMPLEMENTED IN THE MUNICIPALITIES OF THE KOMSOMOLSK REGION

Аннотация. Снижение потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям путем внедрения автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии. Актуальность и востребованность при использовании автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии для координации энергозатрат, а следовательно и экономии всеми участниками энергопотребления, как поставщикам, так и потребителям.
Abstract. Reduction of losses of electric energy during its transmission over electric networks through the introduction of an automated information and measurement system for commercial electricity metering. Relevance and relevance when using an automated information and measurement system for commercial electricity metering to coordinate energy consumption and, consequently, savings by all participants in energy consumption, both suppliers and consumers.
Ключевые слова: потери электроэнергии, учет электроэнергии, прибор учета электроэнергии, модернизация, полезный отпуск.

Keywords: electricity losses, electricity metering, electricity metering device, modernization, useful vacation.

Одной из основных задач любой распределительно-сетевой компании является проблема снижения потерь электрической энергии, такт как объем этих потерь напрямую отражается на финансовой деятельности сетевой организации. Общеизвестно, что основные методы снижения потерь электрической энергии включают в себя как технические, так и организационные мероприятия. Технические мероприятия, как правило, связаны со значительными капитальными затратами, хотя и обеспечивают положительный результат. Организационные мероприятия менее затратные и тоже обеспечивают по положительный эффект. Таким образом, основная задача данного исследования заключается в анализе эффективности применения автоматизированной информационной системы коммерческого учёта электроэнергии (АИИС КУЭ) в электроэнергетической компании, на примере контролерского участка № 6 филиала АО «ДРСК» «Северные электрические сети».

Контролерский участок № 6 обслуживает 684 потребителя в Комсомольском районе. Для оценки результатов обновления измерительных приборов были использованы данные за 2024 год, когда проводилась модернизация. В сравнительном анализе уровня потребления электроэнергии у потребителей, затронутых обновлением в 2024 году, использовались аналогичные временные промежутки между декабрем 2023 года и декабрем 2024 года. В течение данного периода было установлено или заменено 103 счетчика, что составляет 15,1% от общего количества приборов, находящихся на обслуживании филиала, включая:

- НАРТИС-И300-SP31-A1R1-230-5-100A-SN-RF433/1-P1-EHKMOQ1V3-D – 57 шт.
- Нартис-И100-SP1-A1R1-230-5-100A-SS-RF433/1-P1-EHKMOQ1V3-D – 31 шт.
- МИРТЕК-212-РУ-SP3-A1R1-230-5-80A-ST-RF433/1-G/5-P2-HKMOV3-D – 9 шт.
- МИРТЕК-232-РУ-SP31-A1R1-230-5-100A-T-RF433/1-G/5-P2-HKMOV3-D – 3 шт.
- Мир С-05.10-230-5(80) PZF-KN-E-D Кл(1.0) 5(80)А 230В Ф(1) Ц(6) Д(2)- 2 шт.
- CE208 C4.846.2.OGR1.QYUDVFZ GB01 SPDS – 1 шт.

Для создания системы учета в частном секторе применялись подвесные приборы учета электроэнергии, которые монтировались на опорах.

Этот анализ ясно показывает, что у потребителей, которые модернизировали свои приборы учета в 2024 году, в декабре 2024 года наблюдается значительное увеличение полезного отпуска электроэнергии — с 100958 кВт/ч до 168050 кВт/ч по сравнению с декабрем 2023 года. Улучшение показателей потребления электричества достигло 66,5 % благодаря успешной модернизации счетчиков электроэнергии. При- чем у 24 потребителей т. е. в 23,3 % случаев замены приборов учета расход электроэнергии увеличился от 2-ух до 10-ти раз.

На рисунке 1 наглядно показано, как значительно увеличилось электропотребление благодаря модернизации счетчиков электроэнергии.

Исследование реализации автоматизированной информационной системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) на примере филиала АО «ДРСК» «Северные электрические сети» продемонстрировало её значительную эффективность.

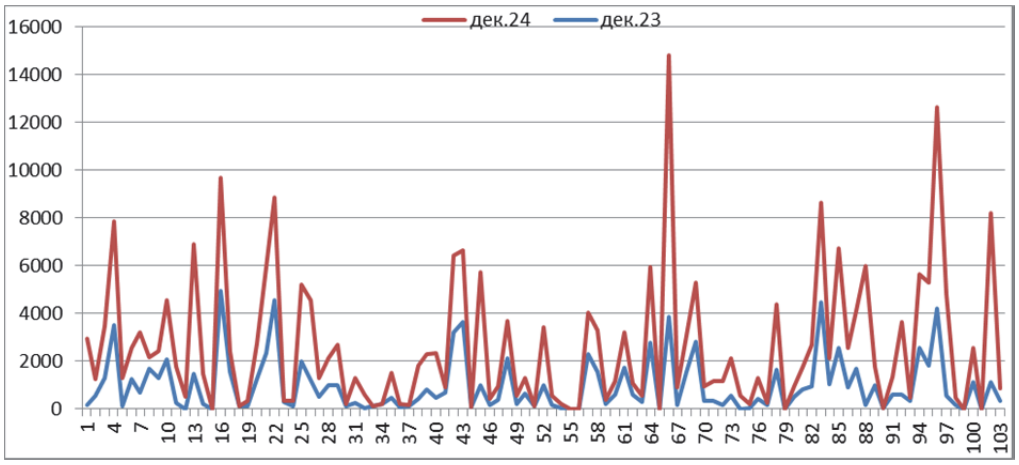


Рисунок 1 – Эффективность потребления электроэнергии среди пользователей контрольного участка № 6, у которых оборудование для учета было модернизировано в 2024 году.

Так как модернизация осуществлена в отдельных населенных пунктах или их частях, этот процесс носит локальный характер. В скором времени следует завершить создание системы, которая будет охватывать территорию, обслуживаемую энергетической компанией, и обеспечить полный контроль над всеми точками учёта потребления электроэнергии. Для успешного функционирования сферы в настоящее время требуется внедрение современных технологических решений. Важно рассмотреть этот аспект в контексте создания компонентов необходимого организационно-технического фундамента для перехода на активные адаптивные методы формирования сетей в будущем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Оценка рисков внедрения АСКУЭ в электрических сетях г. Иванова / И.О. Волкова, А.В. Малков, В.И. Рясин, Е.Б. Малкова // Вестник ИГЭУ. –2004. – Вып. 4 – С. 50–52.

2. Правила устройства электроустановок (ПЭУ)

3. РД 34.09.101-94 Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передачи и распределении

4. Система учета электроэнергии (Электронный ресурс): Сайт для электриков. – URL: http://electromaster.ru/modules/myrticles/article. php?storyid=39

УДК: 681.5.01: 519.876.5

Савельева Алена Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Savelyeva Alena Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Осипова Есения Дмитриевна, ученик, МОУ «Инженерная школа города Комсомольска-на-Амуре»
Osipova Eseniya Dmitrievna, student, MEI «Engineering School of Komsomolsk-on-Amur».
Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель Центра робототехники Ресурсного центра Технопарка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Savelyev Dmitriy Olegovich, senior lecturer, head of the Center for robotics of the Resource center of the Technopark of Komsomolsk-na-Amure State University

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ

APPLICATION OF EXPERT SYSTEMS IN THE TASKS OF PRODUCTION OPERATIONS MANAGEMENT

Аннотация. В условиях ежегодного роста спроса на литейную продукцию машиностроительных предприятий актуальной задачей становится повышение производственной мощ-

ности без значительных капиталовложений. Традиционные методы, такие как расширение производственных площадей, недоступны для малых предприятий, что обуславливает необходимость оптимизации технологических процессов за счет цифровых и интеллектуальных систем управления. В статье рассматривается применение цифрового двойника литейного производства, построенного на основе дискретно-событийного моделирования, в сочетании с нечеткой системой управления. Такой гибридный подход позволяет анализировать параметры технологических операций на имитационной модели, адаптировать управление в условиях нелинейности процессов и неопределенности данных, а также минимизировать простои операций.
Abstract. With the annual growth of demand for foundry products at machine-building enterprises, the urgent task is to increase production capacity without significant capital investments. Traditional methods, such as the expansion of production areas, are inaccessible for small enterprises, which determines the need to optimize technological processes through digital and intelligent control systems. The article considers the application of a digital twin of foundry production based on discrete event modeling combined with a fuzzy control system. Such a hybrid approach allows to analyze the parameters of technological operations on the simulation model, to adapt the control in conditions of nonlinearity of processes and data uncertainty, as well as to minimize the downtime of operations.
Ключевые слова: цифровой двойник, нечеткое управление, дискретно-событийное моделирование, оптимизация технологических процессов, дискретно-событийные системы.
Key words: digital twin, fuzzy control, discrete event simulation, optimization of technological processes, discrete event systems.

Ежегодное увеличение количества машиностроительных предприятий повышает спрос на литейную продукцию, тем самым вызывая очереди из заказов и увеличивая сроки изготовления последующих заказов. Несмотря на немалое количество литейных предприятий, не все они способны справиться с требуемыми объёмами производства. Такие темпы роста спроса на продукцию указывают на необходимость оптимизации производственных циклов, либо отдельных технологических операций. Существует множество способов оптимизации производства для увеличения количества выпускаемой продукции. Одним из таких способов является увеличение производственных мощностей путём расширения производства. Однако такой подход неприемлем для малых предприятий ввиду того, что расширение производства требует вложения больших денежных средств. К менее затратным способам прироста производственных мощностей относится оптимизация производственных процессов и технологические инновации. В качестве альтернативы предлагается использование цифровых двойников, которые обеспечивают повышение эффективности производства за счет виртуального моделирования и оптимизации всех этапов технологического процесса.

Распространенными способами оптимизации производственных процессов являются роботизация, ERP и MES-системы, интеграция IoT, либо использование цифровых двойников [1]. Типовая настройка систем управления и разработка четких инструкций для каждого процесса SOP может позволить производить мониторинг и менять типы изготавливаемой продукции исходя из приоритетных параметров. Несмотря на применение данного способа, он не удовлетворяет все задачи, ведь все инструкции жестко прописаны для каждой технологической операции. Оптимальным является способ, включающий в себя применение цифровых двойников и интеллектуальных систем управления, которые могут не только выполнять аналогичные функции, но и адаптироваться к изменяющимся условиям. Цифровой двойник будет способствовать оптимизации процессов за счет возможности проведения анализа технологических операций на имитационной модели, а также детальной настройки системы управления. Однако даже цифровые двойники и интеллектуальные системы управления имеют свои ограничения. Их эффективность зависит от качества исходных данных, точности математических моделей и способности интеллектуальных систем к самообучению, либо адаптации. В условиях высокой неопределенности полностью автономные системы также могут давать сбои. Таким образом, наиболее перспективным

является подход, основанный на сочетании совокупности методов оптимизации производственных операций.

В статье приводится пример использования цифрового двойника малого литейного производства. Имитационная модель [2], являющаяся цифровым двойником, отображающая поведение и параметры литейного производства деталей [3] представлена на рисунке 1.

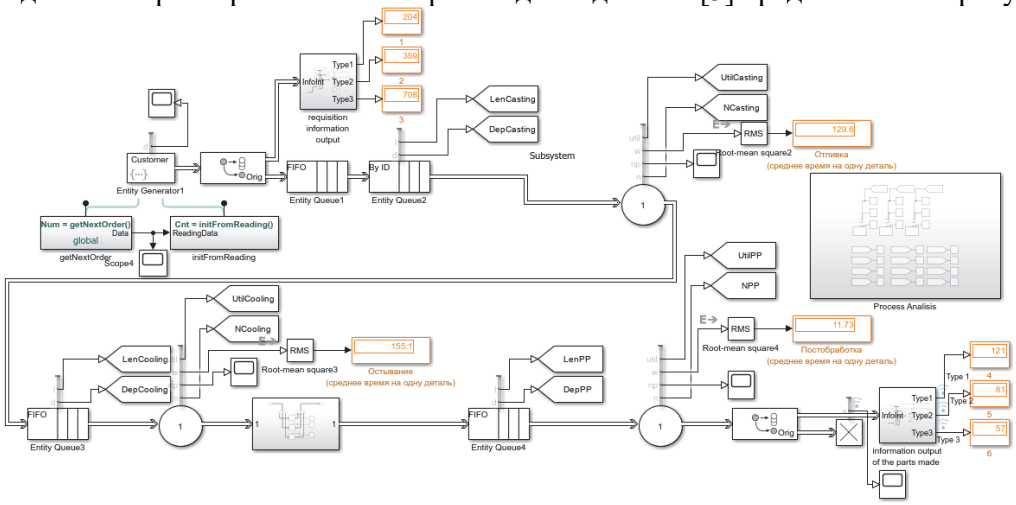


Рисунок 1 – Цифровой двойник литейного производства

Представленная на рисунке 1 имитационная модель выполнена на основе дискретно-событийных систем и позволяет проанализировать различные параметры технологических операций в отдельности [4], что способствует детальной настройки интеллектуальной системы управления.

Исходя из проанализированных данных, была настроена интеллектуальная система. В качестве интеллектуальной системы управления технологическими операциями выбран класс экспертных нечетких систем. Применение нечетких систем управления в данном случае будет эффективно ввиду нелинейности параметров и неопределенности данных. Имитационная модель системы представлена на рисунке 2.

На рисунках 1 и 2 представлены экспериментальные данные, в том числе о количестве произведенной продукции каждого типа. Для типового производства без интеллектуального управления выполненные изделия составляют: Тип 1 – 121 ед., Тип 2 – 81 ед., Тип 3 – 57 ед. После интеграции нечеткой экспертной системы управления количество изделий составило: Тип 1 – 47 ед., Тип 2 – 105 ед., Тип 3 – 134 ед.

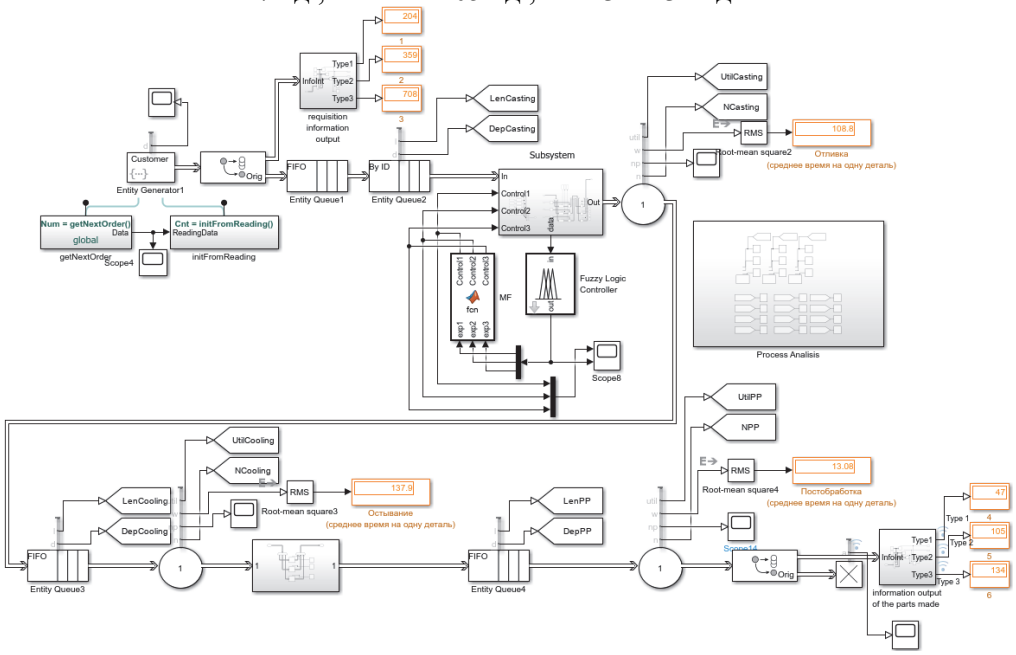
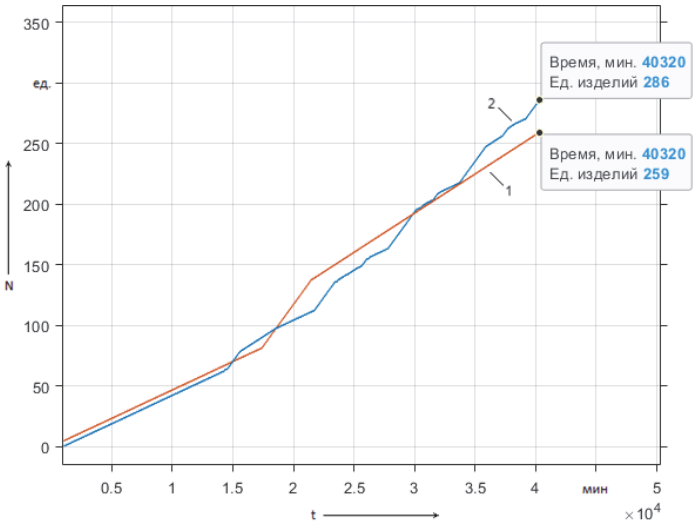


Рисунок 2 – Цифровой двойник с экспертной системой управления



1 – объект без управления; 2 – объект с интеллектуальным управлением

Рисунок 3 – Производительность изделий литейного производства

Общее число производимых изделий увеличилось на 27 единиц. Исходя из представленных данных и равных условий проведения эксперимента, видно, что увеличилось общее количество производимой продукции ввиду уменьшения простоев между технологическими операциями [5] посредством использования экспертной системы управления.

Практическая апробация подхода с использованием интеллектуальной системы управления подтвердила его работоспособность, а полученные данные после интеграции нечеткой экспертной системы управления в цифровой двойник, свидетельствуют о возможности динамической оптимизации циклов производственных операций.

Полученные результаты имеют существенное практическое значение для машиностроительных предприятий, позволяя наращивать объемы выпуска продукции за счет уменьшения простоев технологических операций.

Предложенная методика позволяет малым литейным предприятиям увеличивать объемы выпуска продукции без капитального расширения, за счет интеллектуальной оптимизации существующих мощностей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горькавый М.А. Исследование особенностей применения метода функциональной декомпозиции при разработке имитационных моделей цифрового двойника роботизированного процесса / Горькавый М.А., Егорова В.П., Горькавый А.И., Мельниченко М.А. Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2022. № 3 (59). С. 27-34.

2. Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS.3-е / В. Кельтон, А. Лоу. – Санкт-Петербург: Питер: Издательская группа BHV, 2004. - 847 с.

3. Cherny S.P., Savelyev D.O., Savelyeva A.S., Bazhenov R.I., Povkh I.V. Simulation of a discrete event system for process control of robotic casting // Journal of Physics: Conference Series. Ser. "International Conference on IT in Business and Industry, ITBI 2021" 2021. P. 012080. EDN: YOJXBZ

4. Савельева А.С. Минимизация длительности технологических операций посредством нечеткого управления параметрами процесса непрерывного литья заготовок / Савельева А.С., Савельев Д.О., Черный С.П., Хрульков В.Н. В сборнике: ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ТРАНСПОРТЕ И В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. материалы III Всероссийской научно-практической конференции : посвящается 60-летию кафедры «Электротехника, электроника и электромеханика». Хабаровск, 2023. С. 68-75.

5. Савельева А.С. Повышение эффективности технологического процесса на металлургическом производстве / Савельева А.С., Безнаев Т.Е., Савельев Д.О., Черный С.П. В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных ис-

следований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 216-219.

УДК 615.47
Сафарова Нуринисо Шералиевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Safarova Nuriniso Sheralievna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kopytov Sergey Mihailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АППАРАТА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

DEVELOPMENT OF THE STRUCTURE OF THE APPARATUS OF VIBROACOUSTIC INFLUENCE

Аннотация. Виброакустическое воздействие является эффективным и безопасным для домашнего применения методом физиотерапии. Для технической реализации этого метода предложена структурная схема аппарата, использующего для создания формы сигнала микросхему прямого цифрового синтеза. В дополнение к основному каналу виброакустики добавлен канал инфракрасного воздействия на базе соответствующих светодиодов.
Abstract. Vibroacoustic influence is an effective and safe method of physiotherapy for home use. For technical realization of this method the structural scheme of the device is proposed, which uses a direct digital synthesis chip to create the waveform. In addition to the main channel of vibroacoustics, an infrared channel based on appropriate LEDs is added.
Ключевые слова: физиотерапия, виброакустическое воздействие, прямой цифровой синтез, инфракрасное воздействие.
Key words: physiotherapy, vibroacoustic action, direct digital synthesis, infrared action.

Физиотерапия является вспомогательным щадящим методом профилактики и лечения различных заболеваний человека. Различают несколько видов физиотерапии. Некоторые из этих методов, например, электролечение, из-за опасности нанести вред можно применять исключительно в лечебном учреждении. Другие методы, например, теплотерапию или виброакустическое воздействие можно применять в домашних условиях.

Виброакустическое воздействие оказывает местное влияние в основном на кровеносную и лимфатическую системы человека. Считают, что микровибрации играют благоприятную роль при стимулировании кровотока, а также обменных процессов и регенерации тканей. В определенной степени микровибрации родственны массажу, получившему всеобщее признание благодаря своему положительному влиянию на здоровье.

В случае виброакустического воздействия получаемый эффект зависит от частоты, формы и амплитуды сигнала, создающего вибрацию. Зависимость физиологических процессов от частоты можно объяснить разнообразием размеров проводящих сосудов и других биологических структур, их тонусом, резонансными явлениями.

Промышленность выпускает серию аппаратов виброакустического воздействия под торговой маркой «Витафон» [1, 2]. Однако помимо высокой цены эти аппараты обладают рядом недостатков [3, 4]. Энтузиасты-радиолюбители предложили свои версии подобных устройств [3-5]. Однако к настоящему времени техническое исполнение данных аппаратов устарело. Цель данной работы заключается в разработке структуры аппарата виброакустического воздействия на современной элементной базе, предназначенного для использования в домашних условиях.

Основным узлом аппарата является синтезатор формы колебаний [6]. Развитие микроэлектроники привело к тому, что в настоящее время достаточно сложные функциональ-

ные узлы электронных устройств производят в виде монокристаллической интегральной схемы. Так в данном устройстве целесообразно применить микросхему прямого цифрового синтеза (DDS) типа AD9833 [7]. Такой синтезатор в широком диапазоне частот способен генерировать периодические сигналы синусоидальной, прямоугольной и треугольной формы. Для задания режима работы данного элемента необходим внешний микроконтроллер. Кроме того на микроконтроллер возложены и другие управляющие функции.

Выходной сигнал малой амплитуды и мощности поступает на усилитель, который усиливает напряжение и ток сигнала. Кроме того сигнал на выходе синтезатора как правило имеет постоянное смещение. Поэтому задачей усилителя также является устранение этого смещения. Для устранения постоянной составляющей также можно использовать фильтр верхних частот (ФВЧ), но в этом случае, чтобы пропустить частоты ниже 100 Гц, требуется достаточно большая емкость конденсатора. Предложенная структурная схема аппарата приведена на рисунке 1.

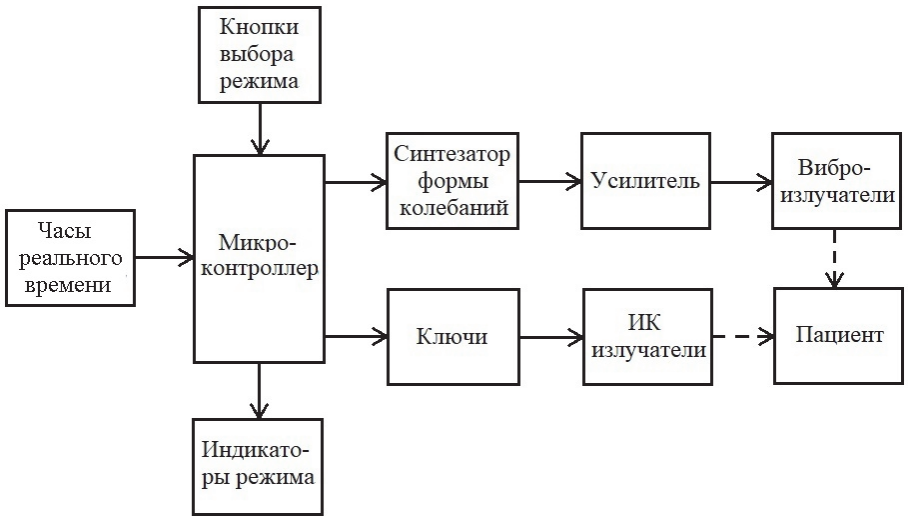


Рисунок 1 – Структурная схема аппарата

Усиленный сигнал подается на виброизлучатели, которые преобразуют электрические колебания в механические. Использованы два виброизлучателя, которые плотно прижимают к коже человека. Известно, что воздушная прослойка имеет высокое акустическое сопротивление, поэтому необходимо ее минимизировать. В технических источниках отмечают, что дополнительное лечебное воздействие оказывает местное инфракрасное излучение [5]. В настоящее время такое излучение легко сформировать с помощью низковольтных инфракрасных (ИК) диодов. В отличие от лазерных диодов, ИК диоды не представляют опасности для человека. Поэтому в аппарате предусмотрен дополнительный оптический канал воздействия. На рисунке 2 представлен внешний вид виброизлучателя и кольцевого держателя ИК диодов. Виброизлучатель вставляется в кольцо, образуя единый виброоптический излучатель.

а) б)



Рисунок 2 – Виброизлучатель (а) и кольцевой держатель ИК диодов (б)

Для включения ИК диодов достаточно использовать транзисторные ключи, которые открывает микроконтроллер. Для уменьшения количества ключей ИК диоды целесообразно собрать в две группы. Кроме дискретного включения каждой группы отдельно можно

использовать плавное управление мощностью излучения с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

С помощью часов реального времени микроконтроллер реализует требуемую зависимость частоты вибрации и интенсивности ИК излучения от времени. Диаграммы изменения выходного сигнала во времени заложены в памяти микроконтроллера. Рабочих режимов может быть несколько. Известно, что организм привыкает к монотонным воздействиям, поэтому необходимо чередование и изменение параметров выходного сигнала. Для выбора режима работы предусмотрены переключатели, подключаемые к портам ввода-вывода микроконтроллера. Отображение режима работы осуществляется на светодиодных индикаторах.

Итак, для генерации колебаний в аппарате виброакустического воздействия использован микроэлектронный синтезатор DDS, управляемый микроконтроллером. Такое решение повышает гибкость формирования сигнала вибрации и освобождает микроконтроллер для выполнения функций управления.

Предложенная структура аппарата удовлетворяет требованиям к безопасности физиотерапевтических устройств для домашнего применения. В нем не используются высокие напряжения, отсутствует контакт человека с токопроводящими частями и представляющими опасность видами излучения. Помимо основного виброакустического канала в аппарате предусмотрен вспомогательный канал инфракрасного воздействия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аппарат виброакустического и инфракрасного воздействия «Витафон-2». – URL: https://static-ru.insales.ru/files/1/1334/2377014/original/vitafon-2.pdf (дата обращения: 25.03.2025).

2. Изучение аппарата виброакустического воздействия «Витафон-2». – URL: https://u4isna5.ru/laba/91-2012-06-05-05-38-23/729-izuchenie-apparata-vibroakusticheskogo-vozdejstviya-vitafon-2 (дата обращения: 25.03.2025).

3. Светодиодный физиотерапевтический прибор. – URL: https://www.isaev51.narod.ru/2milta.htm (дата обращения: 25.03.2025).

4. Светоакустический физиотерапевтический прибор-2. – URL: https://www.isaev51.narod.ru/1milta.htm (дата обращения: 25.03.2025).

5. Аналог прибора Витафон. – URL: https://cxem.net/medic/medic18.php (дата обращения: 25.03.2025).

6. Всё о синтезаторах DDS / Е. Мёрфи, К. Слэттери // Компоненты и технологии. – 2005. – № 1. – С. 28-32.

7. AD9833: программируемый генератор сигналов. – URL: https://microsin.net/adminstuff/hardware/ad9833-programmable-waveform-generator.html (дата обращения: 25.03.2025).

УДК 681.5

Сбитнев Никита Романович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sbitnev Nikita Romanovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Черный Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Cherny Sergey Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-on-Amur State University

Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель Центра робототехники Ресурсного центра Технопарка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyev Dmitriy Olegovich, Senior Lecturer, Head of the Robotics Center of Technopark Resource Center, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ДРОНОВ

ANALYSIS OF MODERN METHODS AND TASKS OF CONTROLLING THE MOVEMENT OF RESEARCH DRONES

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные проблемы управления перемещением исследовательских дронов в условиях неопределённости, ограниченной связи и динамически изменяющейся среды. Основное внимание уделяется анализу существующих архитектур управления, включая централизованные и децентрализованные подходы, с акцентом на их применимость в мультиагентных системах. Обосновывается необходимость перехода к децентрализованной интеллектуальной системе управления, обеспечивающей автономность, адаптивность и устойчивость поведения исследовательских дронов. Сформулированы цели и задачи по созданию такой системы с использованием имитационного моделирования как инструмента проектирования, тестирования и оптимизации. Предложенные подходы направлены на повышение эффективности и надёжности дронов при выполнении исследовательских миссий в сложных и трудно прогнозируемых условиях.
Abstract. The paper deals with actual problems of controlling the movement of research drones under conditions of uncertainty, limited communication and dynamically changing environment. The main attention is paid to the analysis of existing control architectures, including centralized and decentralized approaches, with emphasis on their applicability in multi-agent systems. The necessity of transition to decentralized intelligent control system providing autonomy, adaptability and sustainability of research drones behavior is substantiated. The goals and objectives of creating such a system using simulation modeling as a tool for design, testing and optimization are formulated. The proposed approaches are aimed at improving the efficiency and reliability of drones when performing research missions in complex and poorly predictable conditions.
Ключевые слова: исследовательские дроны, децентрализованное управление, автономные системы, интеллектуальные алгоритмы, имитационное моделирование.
Key words: research drones, decentralized control, autonomous systems, intelligent algorithms, simulation modeling.

Современные задачи в области изучения и мониторинга природных и техногенных процессов требуют внедрения новых, более эффективных методов сбора, анализа и интерпретации данных. Одним из наиболее перспективных направлений в решении этих задач является использование исследовательских дронов, оснащённых сенсорами и вычислительными модулями, способных автономно перемещаться и выполнять задачи в удалённых, труднодоступных или опасных для человека зонах [1].

Однако эффективность использования исследовательских дронов напрямую зависит от способности системы организовать их скоординированное, рациональное перемещение в пространстве, в условиях ограниченных ресурсов, неполной информации и постоянно меняющейся внешней среды. Управление перемещением дронов представляет собой сложную многозадачную проблему, включающую в себя маршрутизацию, избегание препятствий, синхронизацию между участниками системы, обеспечение устойчивости связи и адаптацию к изменяющимся условиям.

На сегодняшний день в сфере управления дронами применяются различные архитектуры: централизованные, иерархические и децентрализованные [2]. Централизованные системы полагаются на управляющий узел, который обрабатывает всю информацию и передаёт команды дронам. Такие системы эффективны при ограниченном числе дронов, но плохо масштабируются, подвержены рискам отказа центрального узла и неустойчивы к потерям связи. Децентрализованные системы, напротив, предполагают, что каждый дрон принимает решения автономно, на основе собственной информации и обмена с ближайшими соседями. Такой подход обеспечивает высокую устойчивость, гибкость и адаптивность, особенно в сложных и изменчивых условиях среды. Однако он требует разработки эффективных алгоритмов координации, локального планирования и адаптации [3]. В условиях, когда дро-

ны действуют в удалённых или неизвестных зонах, невозможно полагаться на стабильную связь с центральным сервером. Более того, эффективность и надёжность миссий повышаются при условии, что каждый дрон может самостоятельно адаптироваться к новым данным, определять цели и маршруты, избегать столкновений, учитывать поведение соседей и, при этом, способствовать достижению общей цели группы. Для создания децентрализованной интеллектуальной системы управления перемещением исследовательских дронов необходимо выделить несколько ключевых целей. В первую очередь, это разработка архитектуры, способной обеспечить автономное и согласованное поведение множества агентов в условиях изменяющейся среды и ограниченной информационной доступности. Для достижения поставленной цели предполагается создание модели, пригодной для верификации и тестирования в имитационной среде с последующим переходом к практическому использованию [4]. В рамках достижения указанной цели необходимо решить ряд взаимосвязанных задач. Требуется разработать алгоритмы планирования маршрутов, позволяющих каждому дрону принимать решения на основе локальной информации и обстановки, изменяющейся во времени. Важно внедрить механизмы адаптивного поведения, которые позволят агентам корректировать свои действия в ответ на внешние изменения, такие как появление препятствий. Также необходима реализация эффективных протоколов межагентного взаимодействия и координации, обеспечивающих коллективное выполнение задач без наличия центрального управляющего элемента. Существенным элементом разработки станет создание полноценной имитационной модели, позволяющей проводить тестирование различных сценариев передвижения дронов, оценивать устойчивость, производительность и масштабируемость системы, а также выявить возможные риски при её эксплуатации в реальных условиях [5].

В условиях роста интереса к автономным исследовательским системам, необходимость в эффективных, адаптивных и устойчивых решениях по управлению перемещением дронов становится особенно актуальной. Централизованные подходы не справляются с требованиями масштабируемости и надёжности, особенно в условиях неопределённости. Децентрализованные интеллектуальные системы, способные к самостоятельному принятию решений и адаптации, представляют собой перспективное направление, способное радикально повысить эффективность работы исследовательских дронов. Использование имитационного моделирования при проектировании таких систем позволяет создать обоснованные и проверенные архитектуры, пригодные для практической реализации. Предложенные цели и задачи служат фундаментом для дальнейших разработок в области автономных систем и мультиагентных решений в контексте робототехнических исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Довгаль, В. А. Интеграция сетей и вычислений для построения системы управления роем дронов как сетевой системы управления / В. А. Довгаль // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: естественно-математические и технические науки. – 2022. – № 1(296). – с. 62-76. – DOI 10.53598/2410-3225-2022-1-296-62-76. – EDN KSTHNC.

2. Зюзин, В. Д. Геометрические способы ориентирования на местности с применением роя дронов / В. Д. Зюзин, Н. С. Анисимов // Матрица научного познания. – 2023. – № 12-1. – С. 139-141. – EDN LFNSTZ.

3. Зайцев, А. В. Системы переменной структуры при управлении дронами в условиях информационной неопределенности / А. В. Зайцев, С. В. Канушкин // Правовая информатика. – 2022. – № 2. – С. 34-48. – DOI 10.21681/1994-1404-2022-2-34-48. – EDN ZGKWMD.

4. Шинова, К. Д. Вопросы безопасности применения беспилотных летательных аппаратов при разработке интеллектуальных систем управления дронами / К. Д. Шинова, Э. Л. Гареева // Гагаринские чтения - 2018 : Сборник тезисов докладов XLIV Международной молодёжной научной конференции, Москва-Ахтубинск-Байконур, 17–20 апреля 2018 года. Том 1. – Москва-Ахтубинск-Байконур: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2018. – С. 337-338. – EDN UOCWRU.

5. Родионов, П. А. Использование дронов и наземных автономных систем для мониторинга и управления / П. А. Родионов // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса : Материалы IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 15 ноября 2023 года. – Курск: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2024. – С. 308-312. – EDN ZXKRBA.

УДК 681.5.017
Сбитнев Никита Романович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sbitnev Nikita Romanovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель Центра робототехники Ресурсного центра Технопарка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Savelyev Dmitriy Olegovich, Senior Lecturer, Head of the Robotics Center of Technopark Resource Center, Komsomolsk-na-Amure State University

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ ГЬЮ-СТЮАРТА ОСНОВАННОЙ НА ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ПРИВОДАХ

METHODS OF CALCULATION OF THE INVERSE KINEMATICS PROBLEM FOR THE GEW-STEWART PLATFORM BASED ON ROTARY ACTUATORS

Аннотация. В статье рассматривается процесс расчета управляющих параметров платформы Гью-Стюарта, использующей приводы вращательного типа. Приведено описание кинематической структуры платформы, рассмотрены методы решения обратной задачи кинематики, а также представлены формулы для вычисления углов поворота сервоприводов.
Abstract. The paper deals with the process of calculating the control parameters of the Gew-Stewart platform using rotary type actuators. The description of the kinematic structure of the platform is given, methods for solving the inverse problem of kinematics are considered, and formulas for calculating the rotation angles of servo drives are presented.
Ключевые слова: система управления, моделирование, серводвигатель, повышение точности, имитационная модель
Key words: control system, modeling, servomotor, accuracy improvement, simulation model

В настоящее время широкую популярность приобретают мехатронные системы и роботизированные устройства во многих различных направлениях. Они применяются в промышленности, строительстве, системах, ориентированных на обучение людей, в космических исследования и т.д. Во многих из рассмотренных отраслей важным элементом управления является стабилизация объекта в пространстве. Для большинства объектов, которые необходимо стабилизировать целесообразно использовать манипуляторы с параллельной кинематической структурой, поскольку они обеспечивают высокую точность и быстродействие.

Однако такие манипуляторы имеют более сложную кинематику, по сравнению с последовательными манипуляторами. Для исследования подобных манипуляторов применяются инструменты для создания имитационных моделей, поскольку они позволяют детально исследовать различные сценарии работы объекта, оптимизировать их конструкцию и управление, а также предвидеть и предотвращать потенциальные проблемы, которые могут возникнуть при эксплуатации. Важным элементом в такой модели является расчет обратной задачи кинематики для правильного управления параллельным манипулятором. В качестве примера, рассмотрим имитационную модель платформы Гью-Стюарта, основанную на приводах вращательного типа.

Приводная платформа состоит из двух жёстких платформ, называемыми базой (неподвижное основание) и подвижной платформой, а также соединённых между собой шестью ногами переменной длины. Поскольку точки крепления ног расположены на одинако-

вых расстояниях, платформу можно представить в виде двух окружностей. Точки крепления ног к базе и платформе представляют собой универсальные шарниры. Для базы и платформы имеются собственные прямоугольные системы координат (рисунок 1) [1].

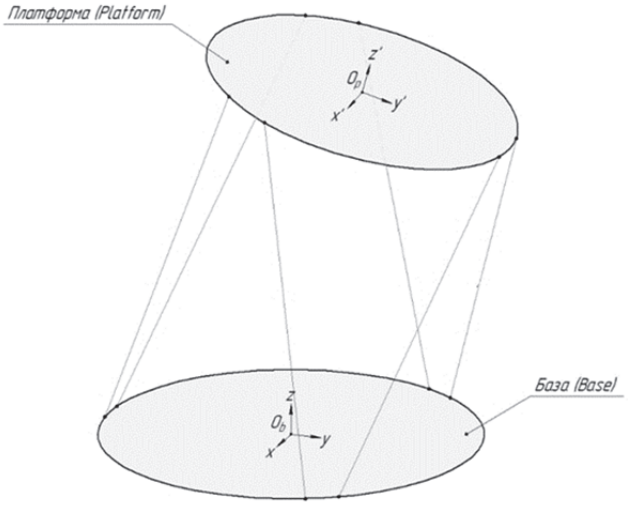


Рисунок 1 – Схематическое описание плоскостей платформы

Расположение платформы, то есть начало координат *Op*, определяется с помощью 3 поступательных линейных перемещений относительно *Ob* вдоль осей *x, y, z* основания. Ориентацию платформы по отношению к основанию можно определить тремя углами Эйлера [2]. Угол ψ определяет поворот вокруг оси z, угол θ – поворот вокруг оси y, а угол φ – поворот вокруг оси *x*. Для определения ориентации платформы используется полная матрица поворота:

$$R_B = R_z(\psi)R_y(\theta)R_x(\varphi) = \\ = \begin{pmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix}.$$

При решении обратной задачи кинематики для данной платформы главной целью является нахождение длины каждой ноги. В случае рассмотрения платформы, использующей линейные привода, расчет сводится к нахождению вектора *l* (рисунок 2)

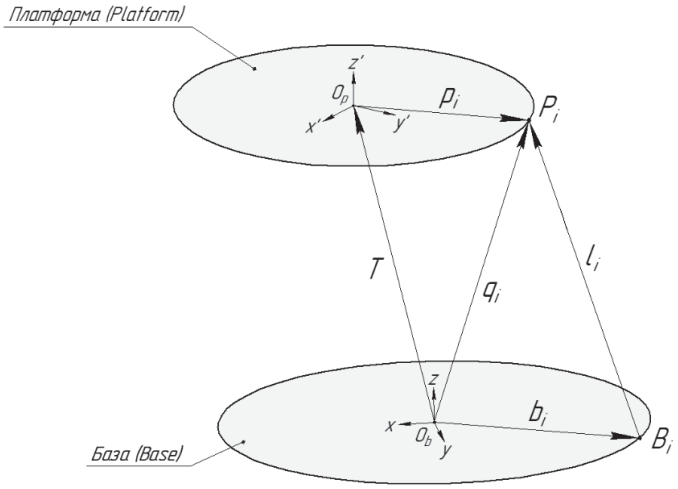


Рисунок 2 – Векторное описание одной ноги

Для нахождения вектора *l*, необходимо найти проекции точек базы и платформы, а также вектор *q* определяющий координату точки соединения ноги к платформе *P* относительно начала системы координат [3].

$$q_i = T + R_B p_i$$
$$l_i = q_i - b_i$$

При рассмотрении платформы на вращательных приводах необходимо учесть, что изменение длины вектора l происходит за счет перемещения тяги, закрепленной к рычагу серводвигателя и имеющих фиксированную длину (рисунок 3).

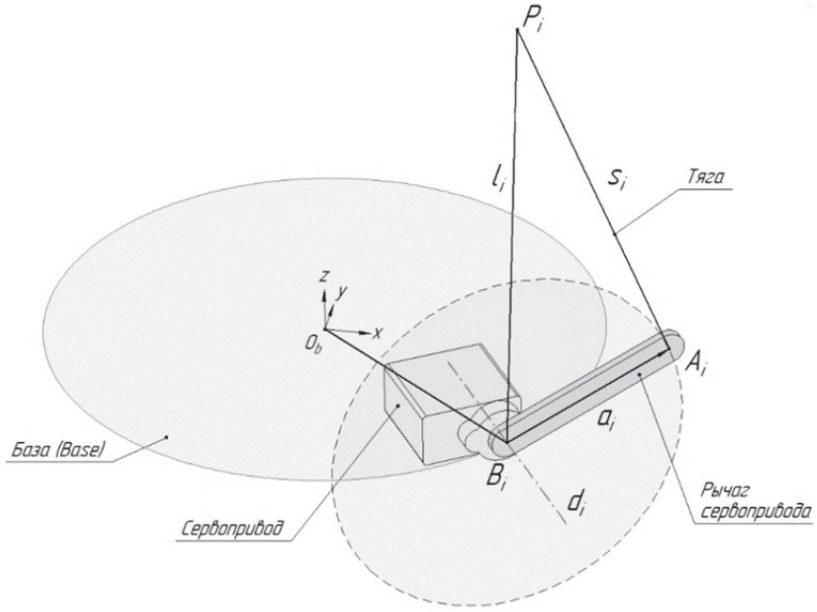


Рисунок 3 – Векторное описание вращательного привода

Обозначим угол, который требуется найти, как α. Начальное положение будет считаться горизонтальным положением рычага в плоскости базы. Для проведения расчётов также потребуется дополнительный угол, описывающий ориентацию плоскости вращения рычага сервопривода [4]. В качестве ориентира примем ось x в системе координат базы O_b и обозначим угол между осью x базы и плоскостью вращения рычага как β. Последующие расчеты сводятся к нахождению угла α при помощи формулы сложения гармонических колебаний через параметры M, N и L:

$$\alpha = \arcsin\frac{L}{\sqrt{M^2+N^2}} - \arctan\frac{N}{M}$$

$$L = l^2 - (s^2 - a^2)$$

$$N = 2a \cdot \left[cos\,\beta\left(x_p - x_b\right) + sin\,\beta\left(y_p - y_b\right)\right]$$

$$M = 2a \cdot \left(Z_p - Z_b\right)$$

Аналогичный расчет проводится для оставшихся углов.

Проведенное исследование позволяет рассчитывать управляющие параметры платформы, а именно углы поворота серводвигателей, что может быть использовано при проектировании и управлении механизмами, требующими высокой точности позиционирования. В рамках имитационной модели, произведенный расчет позволит получать углы поворота серводвигателей для их последующего использования в блоках, осуществляющих непосредственное управление платформой. Полученные результаты подтверждают возможность использования данной модели для решения задач позиционирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Особенности моделирования систем управления сложными объектами, требующими учёта геометрических параметров / С. П. Черный, Д. О. Савельев, Н. Р. Сбитнев, П. О. Саяпина // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2024. – № 1(73). – С. 4-10. – EDN WKOYPI.

2. Прямая и обратная задача кинематики для платформы Стюарта, используемой для стабилизации нивелира / Н. Р. Сбитнев, К. П. Петровский, Д. О. Савельев, С. П. Черный // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября

2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 272-275. – EDN OWCSMJ.

3. Слоущ, А. В. Об управлении движением пространственной платформы с несколькими степенями подвижности / А. В. Слоущ, Х. М. Альван // Теория механизмов и машин. – 2003. – Т. 1, № 1(1). – С. 63-69. – EDN OKBAKT.

4. Лесков, А. Кинематика и динамика исполнительных механизмов манипуляционных роботов / А. Лесков, К. Бажинова, Е. Селиверстова. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2017. – 104 с. – ISBN 978-5-7038-4752-7. – EDN ZUJKPZ.

УДК 681.511.4

Семёнов Никита Юрьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Semyonov Nikita Yurevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель Центра робототехники Ресурсного центра Технопарка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Savelyev Dmitriy Olegovich, senior lecturer, head of the Center for robotics of the Resource center of the Technopark of Komsomolsk- na-Amure State University

ОБЗОР КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

REVIEW OF CLASSICAL METHODS FOR COMPENSATING THE INFLUENCE OF NONLINEAR ELEMENTS ON CONTROL SYSTEMS

Аннотация. В системах управления широко встречаются нелинейные элементы, которые могут негативно влиять на динамические характеристики, снижая точность, устойчивость и быстродействие. В данной статье рассмотрены классические методы компенсации таких нелинейностей, включая линейную и нелинейную обратную связь, метод предыскажений, линеаризацию и использование наблюдателей состояния. Проведен анализ их применимости в различных технических системах, таких как электроприводы, мехатронные системы и авиационные комплексы.

Annotation. Nonlinear elements are commonly encountered in control systems, which can adversely affect the dynamic performance, reducing accuracy, stability, and responsiveness. In this paper, we review classical methods for compensating such nonlinearities, including linear and nonlinear feedback, the pre-distortion method, linearization, and the use of state observers. Their applicability in various technical systems such as electric drives, mechatronic systems and aircraft systems is analyzed.

Ключевые слова: компенсация, нелинейные элементы, методы компенсации, система управления, обратная связь.

Key words: compensation, nonlinear elements, compensation methods, control system, feedback.

Современные системы управления сталкиваются с различными видами нелинейностей, вызванных физическими ограничениями компонентов, трением, зазорами, насыщением сигналов и другими факторами. Такие нелинейности могут вызывать колебания, нестабильность и снижение точности управления. Классические методы компенсации направлены на минимизацию их негативного влияния и улучшение рабочих характеристик системы.

Цель данной работы - рассмотреть основные подходы к компенсации нелинейностей и проанализировать их эффективность в инженерных приложениях. Актуальность темы обусловлена широким применением автоматических систем управления в различных отраслях техники, где наличие нелинейных эффектов может существенно повлиять на качество функционирования устройств и технологических процессов. В условиях повышения требований к надежности, точности и устойчивости становится особенно важным развитие современных методов анализа, моделирования и компенсации нелинейных искажений в реальных динамических объектах.

В современных системах управления нелинейные элементы играют ключевую роль, оказывая значительное влияние на их производительность и устойчивость. Нелинейные элементы в системах управления проявляются в различных формах, включая статические и динамические нелинейности, а также структурные изменения. Статические нелинейности, такие как насыщение, гистерезис и зоны нечувствительности, приводят к искажению входных сигналов и ухудшению точности регулирования [1]. Динамические нелинейности, вызванные трением, зазорами, люфтами и ограничениями скорости, влияют на динамику системы, вызывая дополнительные задержки и нестабильность [2]. Структурные нелинейности, возникающие вследствие переключаемых режимов работы или дискретизации процессов, вносят сложность в моделирование и синтез управляющих алгоритмов [1]. Присутствие нелинейных элементов увеличивает время переходных процессов, способствует возникновению автоколебательных режимов и снижает устойчивость системы [2]. Это требует разработки специальных методов анализа и синтеза регуляторов, учитывающих особенности нелинейной динамики, чтобы обеспечить стабильность и эффективность управления [3].

Существуют несколько методов компенсации нелинейных элементов, рассмотрим каждый из них. Первым из них рассмотрим Метод обратных связей. Данный метод является ключевым инструментом коррекции нелинейного поведения систем управления. Обратная связь позволяет учитывать текущее состояние системы и вносить необходимые коррективы в управляющий сигнал [1]. Основные типы обратной связи включают отрицательную, линеаризующую и дифференциальную обратные связи.

Отрицательная обратная связь снижает воздействие внешних возмущений и частично компенсирует нелинейности путем вычитания сигнала обратной связи из управляющего сигнала [2]. Линеаризующая обратная связь уменьшает нелинейные искажения, вводя корректирующий сигнал, который помогает компенсировать нелинейности, такие как насыщение или гистерезис [3]. Дифференциальная обратная связь используется для подавления низкочастотных помех и компенсации инерционных свойств элементов системы, улучшая реакцию системы на быстрые изменения внешних условий [1]. Например, в системах электропривода применяются обратные связи по скорости и току для минимизации влияния нелинейностей, вызванных насыщением магнитной цепи двигателя. Обратная связь по скорости стабилизирует вращение вала при изменениях нагрузки, а обратная связь по току контролирует потребляемую мощность и предотвращает перегрузку электродвигателя [2].Использование метода обратных связей существенно расширяет возможности управления сложными системами, повышая их точность, надежность и устойчивость [3].Следующим методом является Линеаризация методом малого сигнала , линеаризация представляет собой процесс преобразования нелинейной системы в приближенную линейную модель, что упрощает её анализ и синтез [1]. Данный подход основывается на предположении о малости отклонений от рабочего режима, что позволяет использовать линейное представление для описания поведения системы вблизи равновесия [2]. Основными методами линеаризации являются:

Разложение функции в ряд Тейлора: Этот метод предполагает разложение нелинейной функции в окрестности рабочей точки до первых производных, что эквивалентно линейному представлению в данной области [1].

Экспериментальное определение градиента передаточной функции: Используется для нахождения наклона передаточной характеристики системы в рабочей точке, что позволяет построить локальную линейную модель [2].

Кусочно-линейные аппроксимации: Подход заключается в замене сложной нелинейной зависимости на набор линейных участков, что делает возможным применение стандартных методов анализа линейных систем [3].

Линеаризация методом малого сигнала наиболее эффективна в узких диапазонах работы системы, где отклонения от номинального состояния невелики. Примером практического применения данного подхода является линеаризация аэродинамических характеристик летательных аппаратов в авиации, где используются линейные модели для расчёта устойчивости и управляемости воздушных судов в пределах малых углов атаки и скольжения [1]. Также рассмотрим метод предыскажений. Данный метод представляет собой пер-

спективный подход к управлению нелинейными системами, основанный на предварительном учете известных особенностей нелинейности объекта управления[2]. В отличие от традиционных методов обратной связи, этот метод не полагается на текущие измерения состояния системы, а использует априорную информацию о характере нелинейностей для формирования компенсационного сигнала[3]. Основной целью метода предыскажений является устранение или значительное уменьшение влияния нелинейных эффектов на поведение системы еще до момента их проявления. Одним из примеров практического применения метода предыскажений является управление роботизированными манипуляторами [2]. В таких системах зачастую приходится учитывать влияние гравитации, которое вызывает нелинейные изменения в динамике движения манипулятора [3]. Для компенсации гравитационного воздействия вводится дополнительный управляющий момент, рассчитанный таким образом, чтобы минимизировать отклонения от желаемого траекторного движения [1]. Такой подход позволяет повысить точность выполнения операций и улучшить общую производительность системы [2].

Классические методы компенсации влияния нелинейных элементов, такие как обратные связи, линеаризация, предыскажения и наблюдатели состояния, доказали свою эффективность в повышении стабильности и точности работы систем управления. Эти подходы основаны на детальном знании моделей системы и позволяют учесть большинство нелинейных явлений, присущих различным техническим объектам, будь то электроприводы, робототехнические комплексы или воздушные суда. Тем не менее, их успешное применение зависит от точного знания характеристик системы и возможных возмущающих факторов. Несмотря на значительные достижения, классическая теория сталкивается с определёнными ограничениями, связанными с необходимостью точного моделирования и предсказуемостью внешних воздействий. Поэтому будущие исследования будут сосредоточены на разработке адаптивных и интеллектуальных методов компенсации, основанных на применении машинного обучения и современных алгоритмов идентификации. Такие подходы позволят создавать системы управления, способные автоматически адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации и неопределённостям окружающей среды, что обеспечит новый уровень надёжности и производительности в управлении сложными техническими объектами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нелинейные системы [Текст] / Х. К. Халил ; пер. с англ. И. А. Макарова ; под ред. А. Л. Фрадкова. - Изд. 3-е. - Москва ; Ижевск : Ин-т компьютерных исслед., 2009. - 812 с. : ил.; 22 см. - (Бестселлеры нелинейной науки).; ISBN 978-5-93972-724-2 (в пер.).

2. Краснощеченко, В. И. Нелинейные системы: геометрические методы анализа и синтеза : монография / В. И. Краснощеченко, А. П. Крищенко. - Москва : МГТУ им. Баумана, 2005. - 520 с. - ISBN 5-7038-2182-7. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2039119 (дата обращения: 29.03.2025).

3. Бобиков, А. И. Субоптимальные нелинейные системы управления: метод расширенной линеаризации : учебное пособие / А. И. Бобиков. — Рязань : РГРТУ, 2015. — 108 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/168068 (дата обращения: 29.03.2025).

УДК 621.311

Сироджов Алиджон Исроилбекович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sirojov Alijon Isroilbekovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Янченко Андрей Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Yanchenko Andrey Vyacheslavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanics , Komsomolsk-na-Amure State University

ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

ASSESSMENT OF THE USE OF A HYBRID POWER PLANT FOR THE POWER SUPPLY OF A SMALL ENTERPRISE

Аннотация. В работе рассматривается гибридная солнечно – ветровая электростанция для малого предприятия. Кроме обычных аккумуляторных батарей в системе аккумулирования энергии предлагается использовать ресивер для сжатого воздуха и электроводонагреватель. В схеме автономного электроснабжения предприятия предусмотрена система управления с автоматическим включением резерва. Произведен расчет и выбор распределения электроэнергии от солнечных панелей и ветроагрегата, учитывая местные условия. Показано, что гибридная электростанция позволяет получать прибыль за счет отдачи излишков электроэнергии в общую электросеть.

Abstract. The paper considers a hybrid solar-wind power plant for a small enterprise. In addition to conventional storage batteries, it is proposed to use a receiver for compressed air and an electric water heater in the energy storage system. The enterprise's autonomous power supply scheme includes a control system with automatic reserve activation. The calculation and selection of electricity distribution from solar panels and a wind turbine are made, taking into account local conditions. It is shown that a hybrid power plant allows for profit by returning surplus electricity to the general power grid.

Ключевые слова: гибридная электростанция, малое предприятие, ресирвер, аккумуляторные батареи, солнечные панели, ветрогенератор.

Key words: hybrid power plant, small enterprise, converter, rechargeable batteries, solar panels, wind turbine.

В настоящее время мы видим некоторые недостатки в снабжении потребителей электроэнергией: неизбежный рост тарифов на электричество, безальтернативность получения электроэнергии для её потребителей, тепловое загрязнение окружающей среды от 80% электростанций (т.е. страдает экология) [1]. Что можно сделать? Во-первых, для малых энергообъектов можно внедрять автономные источники энергии, например малые гибридные солнечно-ветровые генераторы. Во-вторых, параллельно решать проблему накопления энергии для возобновляемых источников генерации электричества. Если правильно соотносить установленную мощность возобновляемой генерации и потребности в количестве электроэнергии конкретного потребителя, то возможно получать прибыль от возникающих излишков получаемой электроэнергии, то есть использовать договорную форму взаимодействия малого преприятия (МП), имеющего альтернативные источники генерации (АИГ), с общепромышленными электросетями [4; 5]. Так как АИГ имеют прерывистый характер поступления энергии, то возникает необходимость в наличии достаточного аккумулирования энергии. Традиционный химический аккумулятор имеет большую емкость, но при этом, как правило, высокую стоимость и массу. Очевидно, что выгодно запасать энергию в том виде, в котором она требуется на МП. Если на МП требуется горячая вода, то становится актуальным накопитель в виде электроводонагревателя (ЭВН). Если МП использует пневмоинструменты, то возможно накопление энергии сжатого воздуха.

Для расчета системы электроснабжения был взят конкретный пример малого предприятия – станция техобслуживания легковых автомобилей, которая имеет следующие характеристики: местоположение - г. Комсомольск – на – Амуре; занимаемая площадь помещения – 120 м^2; прилегающая площадь – 300 м^2; обслуживающий персонал – 2-3 человека; потребляемая мощность – 27 кВт· ч/сут;

Распределение суточного энергопотребления автостанции приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Требуемое количество энергопотребления

Потребитель	Количество энергопотребления, кВт·ч/сутки	
Освещение	3,3	Итого: 26,8
Электрооборудование	21	
Пневмоинструмент	1	
Электроводонагреватель	1,5	

В состав комплексного накопителя энергии входят обычные аккумуляторные батарей (АКБ), баллон для сжатого воздуха с компрессором и теплоизолированный электроводонагревателя [2; 3]. Расчетные параметры системы для сжатого воздуха: предельное давление в баллоне (ресивере (Р)) – 50 атм, объем – 1 тыс. литров, энергоемскость – 5,6 кВт · ч. Параметры водонагревателя – объем 100 л, температура нагрева – до 90 градусов Цельсия, материал теплоизоляции – пенополистирол, энергоемкость – 6,1 кВт · ч. Емкость (55 А · ч) и количество АКБ (10 штук) выбираем с учетом электропотребления на освещение МП в течение 12 часов. При этом энергоемкость АКБ составит 6,7 кВт · ч. Структурная схема гибридной электростанции для МП представлена на рисунке 1.

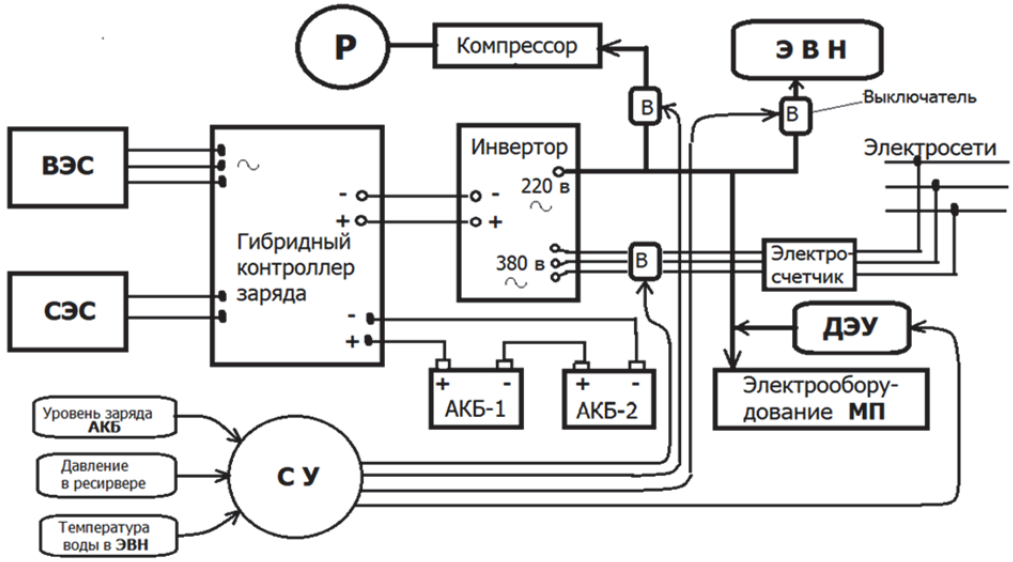


Рисунок 1 – Структурная схема гибридной электростанции для МП

В схеме предусматривается использование датчиков уровня заряда АКБ, давления сжатого воздуха, температуры воды. Гибридный контроллер заряда обеспечивает приведение параметров электроэнергии источников к входным параметрам АКБ и инвертора. Для учета количества отдаваемой в сеть электроэнергии желательно использовать двухтарифный электросчетчик. Система может быть оборудована устройством АВР (автоматическое включение резерва). Распределение мощности альтернативных источников энергии (55 % СЭС 15 кВт и 45 % ВЭС 12 кВт) предлагается с учетом районных условий в городе Комсомольск-на-Амуре. Здесь принимается во внимание солнечная инсоляция и среднемесячная скорость ветра, а также тип, срок службы, стоимость и надежность солнечных панелей и ветрогенераторов для СЭС и ВЭС. Также учитывается общее энергопотребление, которое составит для МП 26800 Вт в сутки.

Затраты на покупку и установку СЭС – это услуги фирмы по установке солнечных сетевых генераций, с которой составляется договор. Услуги по приобретению, установке и настройке на эксплуатацию СЭС мощностью 15 кВт оцениваются примерно в 800 тыс. рублей [4,5]. Затраты на приобретение и установку двух ветрогенераторов мощностью 6 кВт составляют примерно 32 тыс. рублей.

По результатам расчета с помощью онлайн ресурса [4] среднегодовая производство электроэнергии СЭС мощностью 15 кВт составит 60,3 кВт·ч/сутки (суммарная годовая выработка - 22000 кВт·ч. Производство электроэнергии с помощью ВЭС с учетом местных условий при установленной мощности 12 кВт составит за год 7900 кВт•ч (21 кВт•ч/сутки).

В таблице 2 представлены данные расчета среднесуточного производства электроэнергии гибридной электростанцией за годовой период.

Таблица 2 – Производство электроэнергии (солнце + ветер), кВт· ч/сутки

Январь	Февр	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Август	Сент.	Октяб	Нояб	Декаб
66,51	80.02	103.1	100.6	91.6	90.0	84.36	79.42	76.44	72.83	66.25	57.22

В итоге в среднем за год производство электроэнергии (СЭС + ВЭС) составит 82 кВт·ч/сутки, суммарно за год – 30 000 кВт·ч.

Срок окупаемости и прибыльности электростанции на солнечных батареях, с учетом изначальных капиталовложений (881.000 рублей)- составит 7 лет. За минимальный срок эксплуатации 20 лет (по факту солнечная электростанция прослужит гораздо дольше) - она сэкономит (или даже заработает, т.к. полностью она себя окупит через 7 лет) почти 1.500.000 рублей. Окупаемость СЭС представлена на рисунке 2.

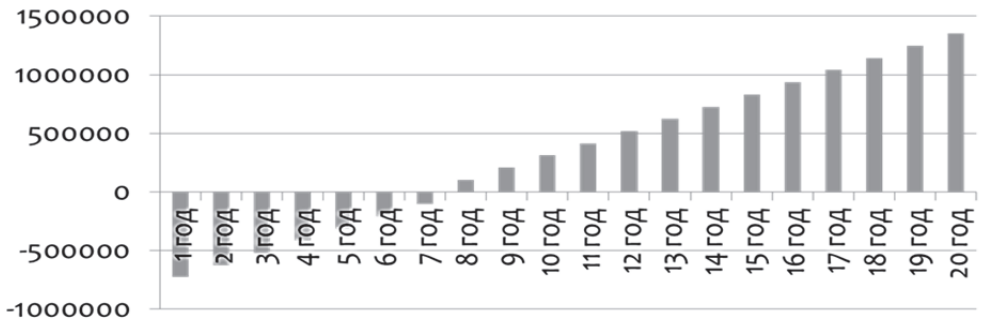


Рисунок 2 – Гистограмма окупаемости СЭС

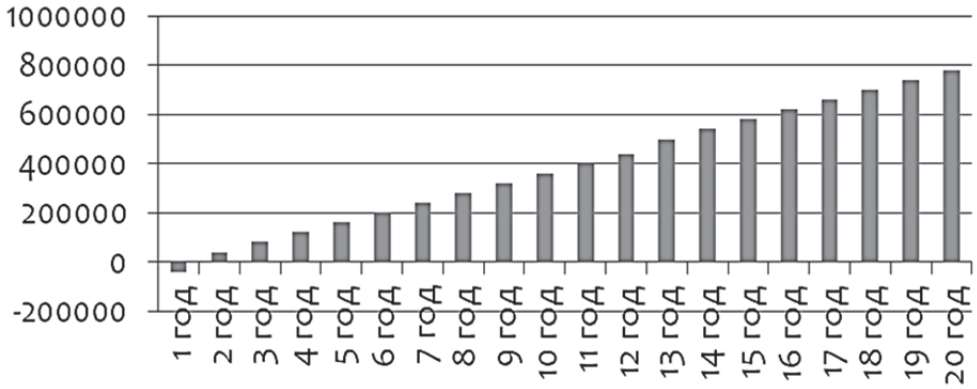


Рисунок 3 – Гистограмма окупаемости ВЭС

Из рисунка 3 видно, что окупаемость ветростанции составит один год. При этом предполагается эксплуатация ВЭС с номинальными параметрами.

Таким образом, разработка автономной системы электроснабжения для малого предприятия предполагает использовать не только гибридную электростанцию (ВЭС + СЭС), но и комплексный накопитель энергии с учетом технологических требований малого предприятия, что позволяет оптимизировать затраты на необходимое оборудование и ускоряет окупаемость затрат за счет прибыли от отдачи электроэнергии при ее избытке в общую электросеть на договорной основе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ларин, Д. Как предприятия снижают затраты на электроэнергию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en-mart.com/zatraty-na-elektroenergiyu-na-predpriyatii/ (дата обращения 02.03.2025)

2. Кулова, Т.Л. Современные электрохимические системы аккумулирования энергии / Т.Л.Кулова, И.И.Николаев, В.Н.Фатеев, А.Ш. Алиев // KIMYA PROBLEMLERI. – 2018. – №1. – С. 9-34.

3. Рачков, М.Ю. Технические средства автоматизации: учеб. / М. Ю. Рачков. – 2-е изд., стереотип. – М.: МГИУ, 2007. – 185 с.

4. Онлайн – калькулятор расчета работы солнечной и ветровой энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.helios-house.ru/on-line-kalkulyator.html (дата обращения 02.03.2025)

5. Срок окупаемости солнечной электростанции. Фирма Альтеко. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.altecology.ru/article/srok_okupaemosti_solnechnoy_elektrostantsii_vygodno_ili_net/ (дата обращения 02.03.2025).

УДК 621.57 : 621.56 : 551.5

Соколова Вера Сергеевна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sokolova Vera Sergeevna, senior lecturer, Komsomolsk- na-Amure State University

КОНТЕКСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

CONTEXTUAL MODELING OF ELEMENTS OF THE MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM OF AN INDUSTRIAL PREMISES

Аннотация. В статье приведены результаты контекстного моделирования элементов системы управления микроклиматом производственного помещения. Исследование направлено на оптимизацию условий микроклимата для повышения эффективности производственных процессов. В модели учтены температура и влажность.
Abstract. The article presents the results of contextual modeling of elements of the microclimate control system of an industrial facility. The study is aimed at optimizing microclimate conditions to improve the efficiency of production processes. The model takes into account temperature and humidity.

Ключевые слова: контекстное моделирование, управление микроклиматом, моделирование, производственное помещение
Key words: context modeling, climate control, modeling, production facility

На сегодняшний день моделирование считается одним из ключевых подходов и методов для проведения исследований и анализа в различных областях деятельности. Такой метод широко используется в научной практике как научно признанный способ, инструмент для оценки, изучения, исследования технических характеристик некоторых сложных систем. Математические, имитационные, аналитические, функциональные модели служат для эффективного анализа, как имеющихся систем, так и для систем, находящихся на стадии разработки [4]. Контекстное моделирование базируется на принципе построения моделей системы, элементы которой оказывают взаимное влияние друг на друга. Идентификация связей между элементами системы в контекстных моделях представляет собой ключевую задачу в процессе построения моделей технических систем [1].

Цель работы заключалась в создании контекстной модели отдельных элементов системы управления микроклимата производственного помещения. За основу была взята разработанная ранее функциональная модель системы.

С целью определения зависимостей между элементами системы управления микроклиматом ранее была сформирована функциональная схема системы управления микроклиматом производственного помещения, показывающая логику управления температурно-влажностным режимом производственного помещения [2]. В данном случае были рассмотрены следующие элементы системы управления микроклиматом: сплит-система (си-

стема кондиционирования), прибор отопления (нагреватель), система управления влажностью воздуха (форсунки, блок управления влажностью).

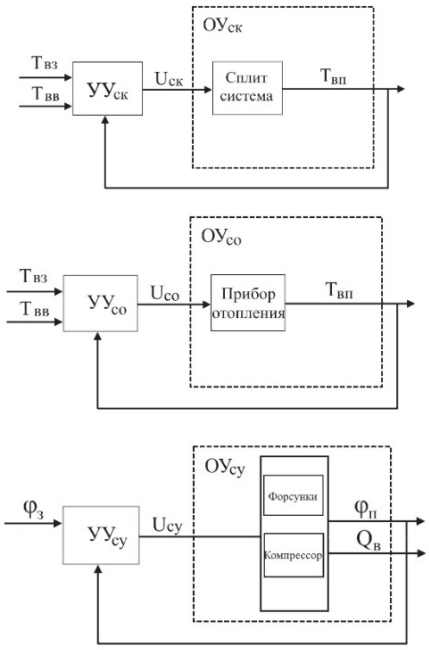


Рисунок 1 – Функциональная схема (модель) системы управления микроклиматом производственного помещения

На рисунке 1 $УУ_{ск}$ обозначается устройство управления системой кондиционирования; $УУ_{со}$ – устройство управления системой отопления; $УУ_{су}$ - устройство управления системой увлажнения; $ОУ_{ск}$ - объект управления система кондиционирования; $ОУ_{со}$ – объект управления система отопления ; $ОУ_{су}$ - объект управления система увлажнения.

На схеме представлены следующие параметры. $Т_{вз}$ - температура воздуха заданная, °С ; $Т_{вв}$ – температура воздуха внешней среды, °С; $U_{ск}$ – закон управления системой кондиционирования; $Т_{вп}$ – показатель температуры воздуха в помещении, °С; $U_{со}$ - закон управления системой отопления(нагрвателем); $U_{су}$ - закон управления системой увлажнения(блок управления влажностью, форсунки) ; $\varphi_з$ – показатель относительной влажности воздуха (заданный), %; $\varphi_п$ – показатель относительной влажности воздуха (в помещении),%; $Q_в$ – объем воды, подаваемой на распылители воды (форсунки), $м^3/ч$ [3].

Для построения системы управления микроклиматом производственного помещения требуется установить взаимозависимости между элементами (ОУск ; ОУсо ; ОУсу) и их процессами. С этой целью была составлена контекстная модель (рисунок 2).

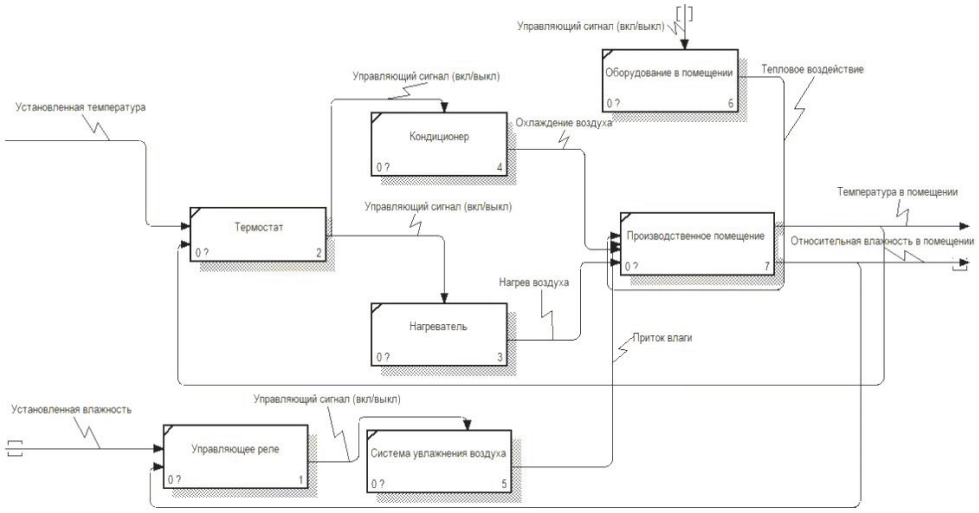


Рисунок 2 – Контекстная модель системы управления микроклиматом производственного помещения

Данная контекстная модель позволяет установить взаимосвязи между элементами системы управления микроклиматом производственного помещения, для последующего имитационного моделирования системы. Что позволит исследовать систему при различных условиях, своевременно выявлять возникающие ошибки, проводить оптимизацию управления такими параметрами как температура, влажность, воздухообмен. Всё это будет способствовать повышению эффективности управления микроклиматом производственных помещений, и соответственно улучшать показатели производственных процессов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ершов, С. В., Сергеева, Т. Е. Математическое моделирование параметров помещений в интеллектуально адаптивных системах автоматического контроля микроклимата / С. В. Ершов, Т. Е. Сергеева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 12-2. С. 88-95.

2. Соколова, В. С. Исследование вопроса учета влажности воздуха при математическом моделировании процессов формирования микроклимата в производственных помещениях / В. С. Соколова, И. В. Зайченко // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы vi всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том часть 1. – Комсомольск-на-амуре: комсомольский-на-амуре государственный университет, 2023. – с. 442-446. – EDN GKYYXE.

3. Соколова, В. С. Исследование динамического метода анализа теплового режима в производственном помещении при нестационарных параметрах микроклимата / В. С. Соколова, И. В. Зайченко, А. С. Сизинцева // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года / Редколлегия: А.В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 246-249. – EDN BZYEAV.

4. Nonthermal plasma for capturing CO2 as a path to ecologically clean energy / I. V. Zaychenko, S. A. Gordin, A. S. Sizintseva [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 470. – P. 01031. – DOI 10.1051/e3sconf/202347001031. – EDN CDPTKQ.

УДК 629.7.062

Солецкий Вячеслав Вадимович, инженер-технолог, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Soletsky Vyacheslav Vadimovich, process engineer, Komsomolsk- na-Amure State University

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТОМОТОРНОЙ ГРУППЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

DEVELOPMENT OF A METHOD OF CALIBRATION OF A STAND FOR DETERMINE THE CHARACTERISTICS OF ENGINE-PROPELLER COMBINATION OF THE AIRCRAFT IN VARIOUS ENVIRONMENTS

Аннотация. Данная работа посвящена разработке методики калибровки стенда для определения характеристик винтомоторной группы летательного аппарата в различных средах, который включает в себя средства измерений электрических (напряжение питания регулятора оборотов, сила тока на обмотках двигателя) и неэлектрических (тяга, момент двигателя, скорость вращения винта) величин.

Abstract. This work is devoted to the development of a calibration method for a testbed for determining the characteristics of an aircraft's propeller group in various environments, which includes measuring instruments for electrical (power supply voltage of the speed controller, current on the motor windings) and non-electrical (thrust, engine torque, propeller rotation speed) quantities.

Ключевые слова: БПЛА, двухсредный аппарат, конвертоплан, лабораторный стенд, воздушный винт, две среды.
Keywords: UAV, two-media vehicle, tiltrotor, laboratory bench, propeller, two environments.

В рамках разработки и исследования электротехнического комплекса бортового оборудования двухсредного беспилотного летательного аппарата, конструкция которого представлена в патенте [1], была выявлена необходимость проведения исследований режимов работы винтомоторных групп (ВМГ) БПЛА с воздушными винтами в водной среде и во время перехода между воздушной и водной средами. Для проведения таких исследований был разработан стенд для определения характеристик ВМГ летательного аппарата в различных средах, конструкция которого описана в статье [2]. Данный стенд подразумевает измерение следующих характеристик ВМГ:

- тяга;
- момент двигателя (реактивный момент);
- скорость вращения винта (количество оборотов в минуту);
- напряжение питания регулятора оборотов;
- сила тока на обмотках двигателя.

Для получения достоверных результатов измерений был произведен подбор датчиков и их калибровка, методика которой представлена в данной статье.

Целью калибровки стенда является учёт и компенсация погрешностей, которые неизбежно будут сопровождать измерения характеристик исследуемой ВМГ малоразмерного беспилотного летательного аппарата. Калибровка стенда направлена, главным образом на определение и компенсацию систематической погрешности. Систематическая погрешность изготовленного стенда обусловлена особенностями его конструкции, количеством и качеством подвижных механических сопряжений, ориентацией стенда в гравитационном поле Земли и другими причинами, которые устранить невозможно или нецелесообразно с точки зрения затрат времени и средств.

При разработке методики калибровки стенда автор руководствовался Федеральным законом «Об обеспечении единства измерений» от 26.08.2008 г. и приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации № 336 от 27.01.2025 г. «Об утверждении порядка признания результатов калибровки и использования их при поверке средств измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, требований к оформлению результатов калибровки, включая прослеживаемость, и содержанию сертификата калибровки». Стенд включает в себя средства измерений электрических и неэлектрических величин. Поэтому методика калибровки стенда предусматривает поочерёдное и сочетанное приложение к датчикам стенда эталонных воздействий: силы тока, напряжения, силы, момента и скорости вращения. Калибровка тензометрического датчика тяги ВМГ. Стенд сконструирован таким образом, чтобы передавать тягу, то есть, силу, создаваемую ВМГ, направленную вдоль оси вращения последней, через рычаг, установленный на свободно вращающейся разъемной качалке, на тензометрический датчик. Для калибровки показания датчика вдоль оси вращения винтомоторной группы поочерёдно подвешиваются эталонные грузы (гири) различной массы. После подвешивания груза выдерживается время, достаточное для успокоения его качаний, после чего с цифровой измерительной системы стенда считываются оцифрованные и прошедшие первичную обработку данные. Погрешность измерения рассчитывается по известным формулам. Измерение крутящего момента винтомоторной группы. Поскольку мотогондола с установленной на ней винтомоторной группой кинематически не связана с патроном стенда, за счет подшипников, обеспечивающих свободное вращение вала мотогондолы, реактивный момент, возникающий в двигателе, равный по модулю и противоположный крутящему моменту, создает усилие, которое прикладывается к тензометрическому датчику. Момент определяется как произведение измеренного усилия на длину лапки. Методика калибровки предусматривает создание эталонного момента. В связи с тем, что утверждённый в 2010 году Росрегулированием государственный эталон единицы силы крутящего момента, представляющий собой комплекс из рычажно-грузоприёмных механизмов, наборов грузов и электропривода, не

доступны, методика допускает использовать для калибровки показаний датчика динамометрический ключ. Методика калибровки датчика силы тока в обмотках двигателя и датчика напряжения батареи не отличается от общепринятых и состоит в подключении датчиков к источникам тока и напряжения соответственно, и одновременном измерении электрических величин поверяемым и эталонными средствами измерений.

Измерение скорости вращения ВМГ. В качестве датчика используется инфракрасный датчик препятствия, который установлен таким образом, чтобы через зону его действия проходили лопасти вращающегося винта. Цифровая измерительная система стенда рассчитывает скорость вращения винта, исходя из количества лопастей и периодичности срабатывания датчика. Калибровка канала измерения скорости вращения ВМГ осуществляется с помощью цифрового частотометра или осциллографа, на вход которого подаётся сигнал от фотоприёмника, освещаемого через область вращения лопастей винта. Ввиду отсутствия мультипликативных погрешностей показания датчиков тяги, крутящего момента винтомоторной группы, напряжения в сети и силы тока на обмотках двигателя, при включении системы принимаются равными нулю.

В рамках работы была разработана методика калибровки стенда для определения характеристик винтомоторной группы летательного аппарата в различных средах, необходимого для проведения исследований режимов работы винтомоторных групп БПЛА с воздушными винтами в водной среде. Калибровка стенда направлена, главным образом на определение и компенсацию систематической погрешности. Методика калибровки стенда предусматривает поочерёдное и сочетанное приложение к датчикам стенда эталонных воздействий: силы тока, напряжения, силы, момента и скорости вращения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Патент на полезную модель № 213733 U1 Российская Федерация, МПК B64C 39/08, B60F 5/02. двухсредный беспилотный летательный аппарат : № 2022119081 : заявл. 12.07.2022 : опубл. 27.09.2022 / В. В. Солецкий, А. А. Перевалов, Д. А. Киба, А. М. Чипизубов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Комсомольский-на-Амуре государственный университет". – EDN ZFSKUH.

2. Солецкий, В. В. Разработка стенда для определения характеристик винтомоторной группы летательного аппарата в различных средах / В. В. Солецкий, Д. А. Киба, М. А. Бородин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 2. – С. 40-47. – DOI 10.24412/2071-6168-2025-2-40-41. – EDN AEZWWU.

3. Об утверждении порядка признания результатов калибровки и использования их при поверке средств измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, требований к оформлению результатов калибровки, включая прослеживаемость, и содержанию сертификата калибровки [Электронный ресурс] : приказ Минпромторга РФ от 27 янв. 2025 г. № 336. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Пухаренко Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие для вузов / Ю. В. Пухаренко, В. А. Норин. – СПб. : Лань, 2024 – 424 с.

5. Юрасова Н. В. Метрология и технические измерения. Лабораторный практикум : учебное пособие для СПО / Н. В. Юрасова, Т. В. Полякова, В. М. Кишуров. – СПб. : Лань, 2025 – 188 с.

УДК 621.314.

Табаров Бехруз Довудходжаевич, кандидат технических наук, доцент; Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tabarov Bekhruz Dovudkhodzhayevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Komsomolsk- na-Amure State University

Соловьев Вячеслав Алексеевич, доктор технических наук, профессор; Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Solovyev Vyacheslav Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor; Komsomolsk-on-Amur State University

КОМПЕНСАЦИЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НОВЫМ РЕАКТОРНО-ТИРИСТОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ

COMPENSATION OF VOLTAGE DEVIATION IN POWER SUPPLY SYSTEMS BY A NEW REACTOR-THYRISTOR DEVICE

Аннотация. Приводятся результаты исследования стабилизации напряжения на входе трансформаторных подстанций с новым реакторно-тиристорным устройством при повышении напряжения в питающей сети на +16% и снижения тока на нагрузке на -70% от номинального уровня. Исследование проводилось на модели трансформаторной подстанции мощностью 1000 кВ·А и напряжением 6/0,4 кВ при φ=45 град. Полученные результаты численных экспериментов подтверждают, что применение предложенного технического решения позволяет комплексно повысить эффективность работы систем электроснабжения при сохранении срока службы электрооборудования, как в стационарных, так и динамических режимах.

Abstract. The results of a study of voltage stabilization at the input of transformer substations with a new reactor-thyristor device are presented when the voltage in the supply network increases by +16% and the load current decreases by -70% from the nominal level. The study was conducted on a model of a 1000 kV transformer substation·And with a voltage of 6/0.4 kV at φ = 45 degrees. The obtained results of numerical experiments confirm that the application of the proposed technical solution makes it possible to comprehensively improve the efficiency of power supply systems while maintaining the service life of electrical equipment, both in stationary and dynamic modes.

Ключевые слова: питающая сеть, новое реакторно-тиристорное устройство, активно-индуктивная нагрузка, имитационная модель, перенапряжение и стабилизация напряжения.

Key words: power supply network, new reactor-thyristor device, active-inductive load, simulation model, overvoltage and voltage stabilization.

Графики электрических нагрузок и опыт эксплуатации систем электроснабжения (СЭС) показывают, что большая часть потребителей электроэнергии нуждается в улучшении качества электроэнергии из-за нестабильности напряжения питающей сети и(или) тока нагрузки [1]. Установлено, что ухудшение качества электроэнергии приводит к нарушению технологических процессов, снижению эффективности работы СЭС, сокращению срока службы электрооборудования и преждевременному выходу их из строя. Как показывает практика, существующие традиционные регуляторы напряжения (РН) не удовлетворяют требованиям потребителей электроэнергии в части сохранения необходимого уровня качество электроэнергии в СЭС, поэтому в последние годы отечественные и зарубежные ученные предлагают рассматривать использование разных гибридных технических решений на основе компонентов силовой электроники взамен или совместно с существующими механическими регуляторами напряжения (МРН). Анализ исследования ранее предложенных гибридных регуляторов напряжения (ГРН) показал, что применение этих РН в реальной установке облегчают работу электрооборудования СЭС за счет повышения быстродействующие и точности регулирования напряжения. Однако, помимо положительных сторон ГРН, им присущ и ряд недостатков, особенно при возникновении необходимости регулирования напряжения в широких диапазонах. Они проявляются в виде значительных несинусоидальности тока и напряжения, а также низких технико-экономических показателей электроустановки. С целью возможности ослабления недостатков, существующих МРН и ГРН, предлагается новые технические решения на основе реакторно-тиристорных устройств (РТУ) [2-4].

Исследование стабилизации напряжения в СЭС при ступенчатом повышении напряжения питающей сети или снижении тока нагрузки проводилось в среде Matlab на имитационной модели трансформаторной подстанции с предлагаемым регулятором напряжения. Модель представлена на рисунке 1 и состоит из блока питающей сети (ПС), линии электропередачи (ЛЭП), блоков разъединителя (QS), контактора (АС) и сетевого высоко-

вольтного выключателя (Q1), модулей основных (VS1) и дополнительных (VS2) тиристорных ключей, блоков системы импульсно-фазового управления (СИФУ-1 и СИФУ-2), основного (L1), промежуточного (L2) и дополнительного (L3) реакторов, силового трансформатора (СТ), активно-индуктивных нагрузок ($Z_н$-1 – $Z_н$-8), блоков датчика отклонения напряжения (ДОН), авторегулирования (БАР), выключателя нагрузки ($Q_н$), гибридных пускателей (ГП-1 – ГП-8) активно-индуктивных нагрузок и формирователя управляющих импульсов (ФУИ) тиристорных пускателей блоков ГП-1 – ГП-8.

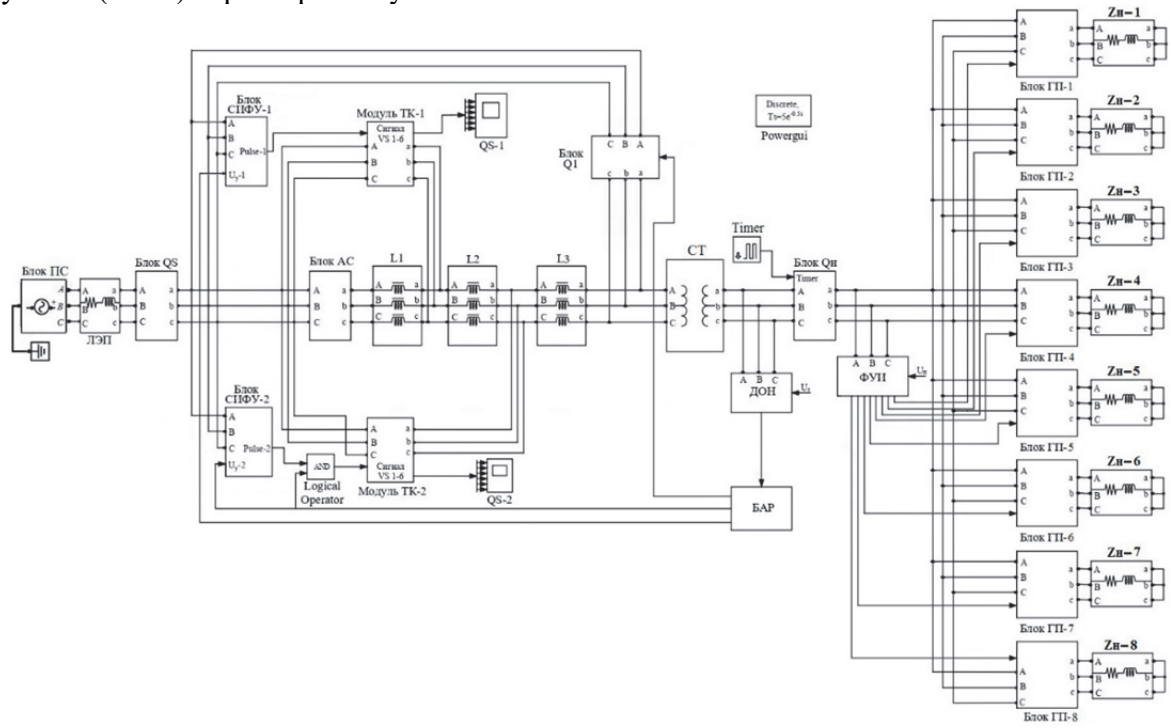


Рисунок 1 – Блочно-модульная модель ТП с новым регулятором напряжения

На рисунке 2 приведены осциллограммы мгновенных значений токов и напряжений питающей сети (i_c и u_c) и нагрузки ($i_н$ и $u_н$), а также мгновенного значения напряжения первичной обмотки силового трансформатора ($u_{СТ}$) и действующего значения напряжения на нагрузке ($U_н$) при переходе с одной ступени повышения напряжения питающей сети или снижения тока нагрузки на другой уровень при разных углах управления основных ТК1 и дополнительных ТК2 модулей тиристорных ключей. В частности осциллограммы иллюстрируют работу электрооборудования СЭС при ступенчатом повышении напряжения в питающей сети на +16% или снижении тока нагрузки на-70% от номинального уровня. В рамках данной работы рассматривалось повышение напряжения в питающей сети дробно на каждой ступени по +2,5%, а снижение тока в нагрузке по-10% от номинального значения. Ступенчатое изменение напряжения и тока на осциллограммах рисунка 2 разделены соответствующими интервалами времени (Т-1 – Т-8).

На осциллограммах рисунках 2 с левой стороны приведены полученные результаты исследования, которые иллюстрируют ступенчатое повышение напряжения в питающей сети, а с правой стороны ступенчатое снижение тока на нагрузке. Анализ кривых, приведенных на осциллограммах, наглядно демонстрирует, что предлагаемое РТУ [4] поддерживая напряжение у потребителей на номинальном уровне при ступенчатом снижении тока нагрузки, практический не искажает синусоидальность входного и выходного напряжения СТ на интервалах времени Т-3 – Т-6, а на остальных интервалах времени сохраняет их уровень синусоидальности. Предлагаемое РТУ стабилизируя напряжение у потребителей на заданном значении при ступенчатом повышении напряжения питающей сети незначительно искажает синусоидальность входного и выходного напряжения СТ только на интервалах времени Т-3 – Т-6, а на остальных интервалах времени сохраняет их уровень синусоидальности. Следует отметить, что на приведенных осциллограммах отсутствуют, анализ работы СЭС на интервалах времени Т-1

и Т-8. Это связанно с тем, что РТУ на этих интервалах временней полностью сохраняет синусоидальность входящих и выходящих через устройство токов и напряжений. На интервалах временней Т-1 – Т-8 тиристорные ключи ТК1 и ТК2 поддерживают номинальное напряжения в СЭС при угле от α=15 град до α=140 град [5]. Анализируя результаты исследования, представленные на рисунке 2, можно подметить, что применение РТУ на входе ТП позволяет не только облегчить и обеспечить нормальную работу трансформатора, но и создает ещё возможности повысить эффективности работы СЭС, не применяя при этом дополнительного устройства для сглаживания несинусоидальности входного и выходного напряжения ТП. Это связано с тем, что несинусоидальности входного и выходного напряжения ТП укладываются в допустимые пределы, установленные отечественными и зарубежными ГОСТами.

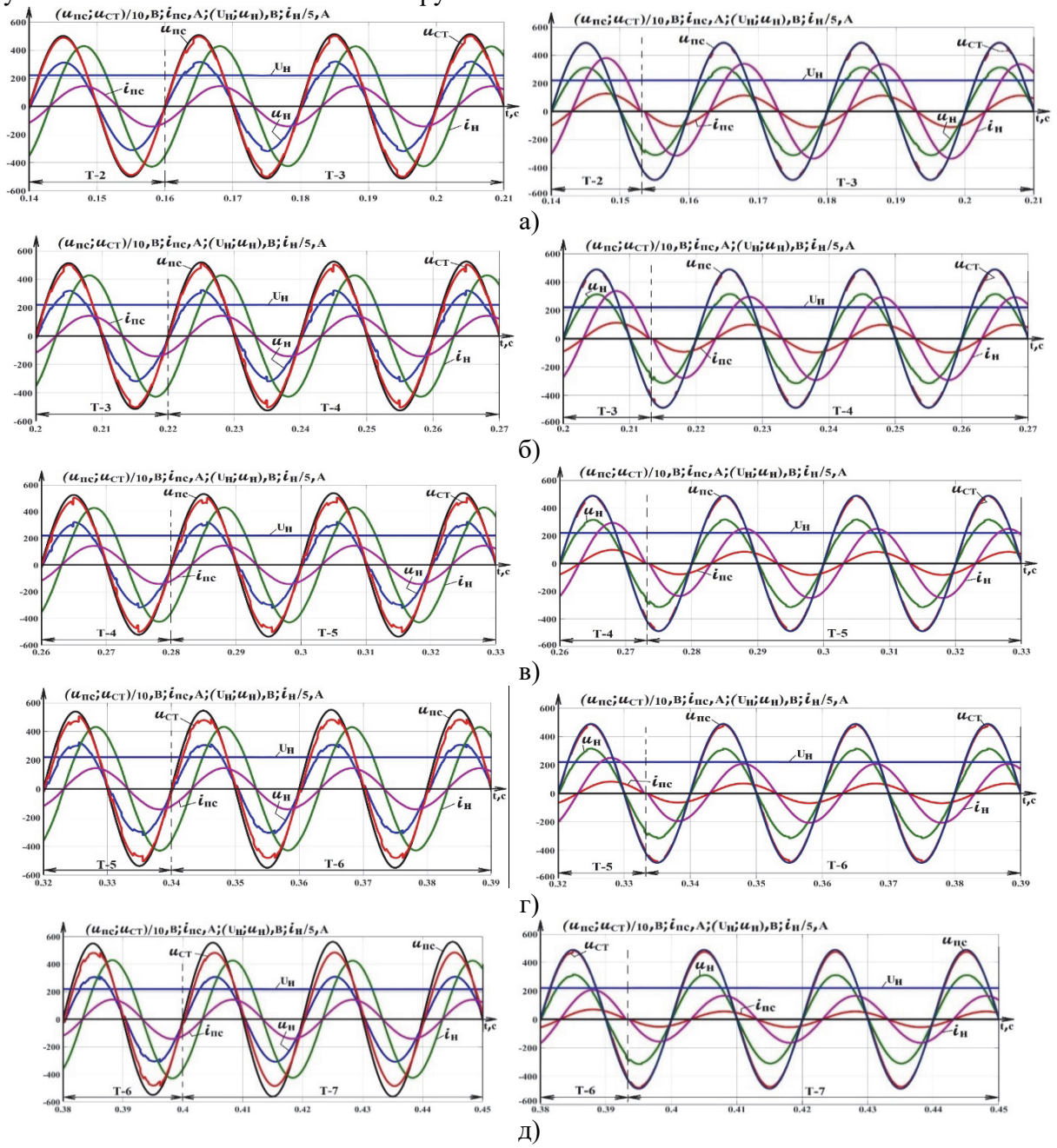


Рисунок 2 – Осциллограммы мгновенных значений токов и напряжений и действующего значения напряжения при переходе с одной ступени повышения напряжения питающей сети или снижении тока нагрузки на другой ступени

Результатами численных экспериментов, рассмотренные в статических и динамических режимах подтверждают, что новый регулятор напряжения, поддерживая номинальное

напряжение у потребителей на заданном уровне, облегчает работу СЭС с высокими технико-экономическими показателями при возникновении положительного отклонения напряжения в питающей сети до +16% или отрицательного отклонения тока на нагрузке до -70% он номинального значения. Необходимо подчеркнуть, что благодаря расширению функциональных возможностей предлагаемого устройства, облегчается работа СЭС с высокими технико-экономическими показателями в случае одновременного возникновения положительного отклонения напряжения в питающей сети и отрицательного отклонения тока на нагрузке от номинального значения. Этого можно достигнуть при согласовании мощности СТ с предлагаемым регулятором напряжения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Распоряжение Правительства РФ от 09 июня 2020 г. № 1523-р «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/ (дата обращения: 17.03.2025).

2. Табаров Б.Д., Соловьев В.А., Иванов В.И. Двухтрансформаторная подстанция с общим двухподдиапазонным управляемым регулятором напряжения // Электричество. 2024. № 4. С. 74-84.

3. Табаров Б.Д. Исследование падения напряжения на двухподдиапазонном реакторно-тиристорном управляемом регулятором напряжения при стабилизации напряжения / Б.Д. Табаров // Журнал оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации. – 2024. – № 5 (110). – С. 3 – 10.

4. Патент на изобретение № 2829330 RU Российская Федерация, МПК H02M 5/25 (2006.01), СПК H02M (2024.08). Реакторно-тиристорное пускорегулирующее устройство на высокой стороне трансформаторной подстанции : № 2024114284 : заявл. 24.05.2024 : опубл. 30.10.2024 / Б.Д. Табаров ; заявитель и патентообладатель Б.Д Табаров.

5. Патент на изобретение № 2834452 RU Российская Федерация, МПК H02M 5/257 (2006.01), H02P 13/06 (2006.01). Способ управления реакторно-тиристорным пускорегулирующим устройством силового трансформатора : № 2024120821 : заявл. 19.07.2024 : опубл. 11.02.2025 / Б.Д. Табаров ; заявитель и патентообладатель Б.Д Табаров.

УДК 621.311

Тишкина Екатерина Алексеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tichkina Ekaterins Alekseevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Янченко Андрей Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Yanchenko Andrey Vyacheslavovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanics , Komsomolsk-na-Amure State University

ВОПРОСЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ГЛАВНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АМУРСКОЙ ТЭПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ - ТЭЦ-1

ISSUES OF MODERNIZATION OF THE MAIN SWITCHGEAR OF AMURSKAYA TEPLO-ELECTRIC POWER PLANT – ТЭЦ-1

Аннотация. В работе рассмотрены причины и задачи модернизации главного распределительного устройства Амурской ТЭЦ-1 с напряжением 6 кВ, дана оценка текущего состояния элементов распределительного устройства и их надежности. С учетом графиков нагрузки выбрано новое современное оборудование: силовой трансформатор, коммутационное и контрольно-измерительное оборудование, в том числе трансформаторы тока и напряжения, токоограничивающие реакторы.

Abstract.The paper considers the reasons and tasks of modernization of the main switchgear of Amurskaya CHPP-1 with voltage of 6 kV, assesses the current state of the switchgear elements and their reliability. Taking into account the load schedules, new modern equipment was selected:

power transformer, switching and control-measuring equipment, including current and voltage transformers, current-limiting reactors.
Ключевые слова: распределительное устройство, модернизация, реконструкция, выключатель, токоограничивающий реактор, трансформатор напряжения, трансформатор тока.
Key words: switchgear, modernization, reconstruction, circuit breaker, current limiting reactor, voltage transformer, current transformer.

Известно, что реконструкция схем и модернизация устаревшего оборудования распределительных устройств является важнейшим этапом, направленным на повышение технико-экономических показателей энергетических объектов [1; 2].

В конечном итоге, такие мероприятия сводятся к повышению параметров надёжности, безопасности, бесперебойности электроснабжения потребителей, а также экономичности и экологичности. При проектировании схем электроснабжения объектов энергетики необходимо учитывать:

- надежность проектируемой схемы электроснабжения потребителей;
- возможность визуального наблюдения за состоянием распределительных сетей на всей территории;
- возможность механизации работ по строительству и ремонту распределительных сетей;
- однотипность оборудования распределительных сетей;
- возможность ведения работ с учетом сооружения и эксплуатации в их зоне электрических сетей [3; 4; 5].

Амурская теплоэлектроцентраль ТЭЦ-1 задумывалась и строилась в целях энергообеспечения целлюлозно-картонного комбината в городе Амурске. 23 февраля 1961 года на территории угольного причала был забит первый колышек под фундамент будущей ТЭЦ. 5 ноября 1965 года ТЭЦ была сдана в эксплуатацию. В 1979 году была построена третья очередь, увеличившая установленную электрическую мощность до 205 МВт.

Проект модернизации Байкало-Амурской магистрали - БАМ-2, предполагает увеличение пропускной способности электрических сетей и расширение схемы выдачи мощности электростанций, действующих в Дальневосточном регионе. В рамках решения этих задач, в 2024 году начался этап реконструкции схемы выдачи мощности Амурской ТЭЦ-1. Оценка состояния распределительного устройства выявила ограничения выдачи установленной мощности турбогенераторов Амурской ТЭЦ-1. Поэтому основными причинами реконструкция главного распределительного устройства генераторного напряжения являются увеличение пропускной способности ГРУ 6кВ и повышение надежности электроснабжения потребителей.

Для обоснования реконструкции основных элементов ГРУ-6кВ необходимо было провести целый ряд работ:

1. Провести анализ существующей схемы электроснабжения ГРУ-6кВ ТЭЦ-1;
2. Разработать предложения по модернизации данного объекта;
3. Провести оценку надежности основных существующих элементов ГРУ-6кВ;
4. Осуществить расчет графиков электрических нагрузок ТЭЦ;
5. Провести выбор и проверку силовых трансформаторов;
6. Провести расчет токов к.з. в системе электроснабжения ГРУ 6кВ;
7. Выбрать и проверить коммутационные аппараты для установки в ГРУ 6кВ.

Таким образом, основные работы имеют два направления – первое, это реконструкция схемы электроснабжения ГРУ-6кВ Амурской ТЭЦ-1, а второе - модернизация устаревшего оборудования на данном объекте.

Главное распределительное устройство генераторного напряжения (далее ГРУ-6кВ) служит для приема и распределения электроэнергии, вырабатываемой генераторами станции №№ 1-4, на отходящие от шин ГРУ-6 кВ фидера потребителей и собственных нужд, а также для передачи ее на силовые трансформаторы № Т-1 и Т-2.

Схема ГРУ-6кВ выполнена с двумя системами шин – рабочей и резервной, с одним выключателем на цепь, с реактированием отходящих фидеров.

Исходя из результатов оценки надежности основных элементов ГРУ-6кВ, с учётом исходной схемы электроснабжения до проведения модернизации, установлено, что реконструкцию целесообразно проводить с внедрением следующих основных мероприятий:

- С целью повышения надёжности и выдачи установленной активной мощности ТЭЦ в энергосистему Хабаровского края, рекомендуется установить силовой трансформатор Т-3, такая схема позволит снять ограничения по выдаваемой мощности, улучшить симметричность нагрузки по всем 4-м секциям ГРУ; с такой схемой можно ограничить перевод любой из секций ГРУ на трансферную (резервную) систему шин, увеличит надежность системы электроснабжения при выводе в ремонт одного из двух имеющихся силовых трансформаторов.
- Для повышения коммутационной способности, надёжности и безаварийности работы основных элементов, а также снижения затрат на ремонт и обслуживание основного оборудования, в ГРУ-6кВ, рекомендуется провести полную замену устаревших маломасляных горшковых выключателей марки МГ-20, на элегазовые выключатели высокого напряжения, такая замена будет иметь значительный технико-экономический эффект.

Новая схема ГРУ 6кВ с дополнительным трансформатором Т3 показана на рисунке 1. По результатам расчетных графиков электрических нагрузок выбран новый силовой двухобмоточный трансформатор марки ТДТН-63000/110/6, что позволит осуществлять работу других в нормальном режиме и увеличить выдаваемую мощность до 285 МВт. При модернизации устаревшего оборудования ГРУ-6кВ необходимо применить современные марки и типы коммутационных и защитных аппаратов, которые выбираются с учетом токов КЗ. На рисунке 2 представлена схема замещения ГРУ для расчета токов КЗ.

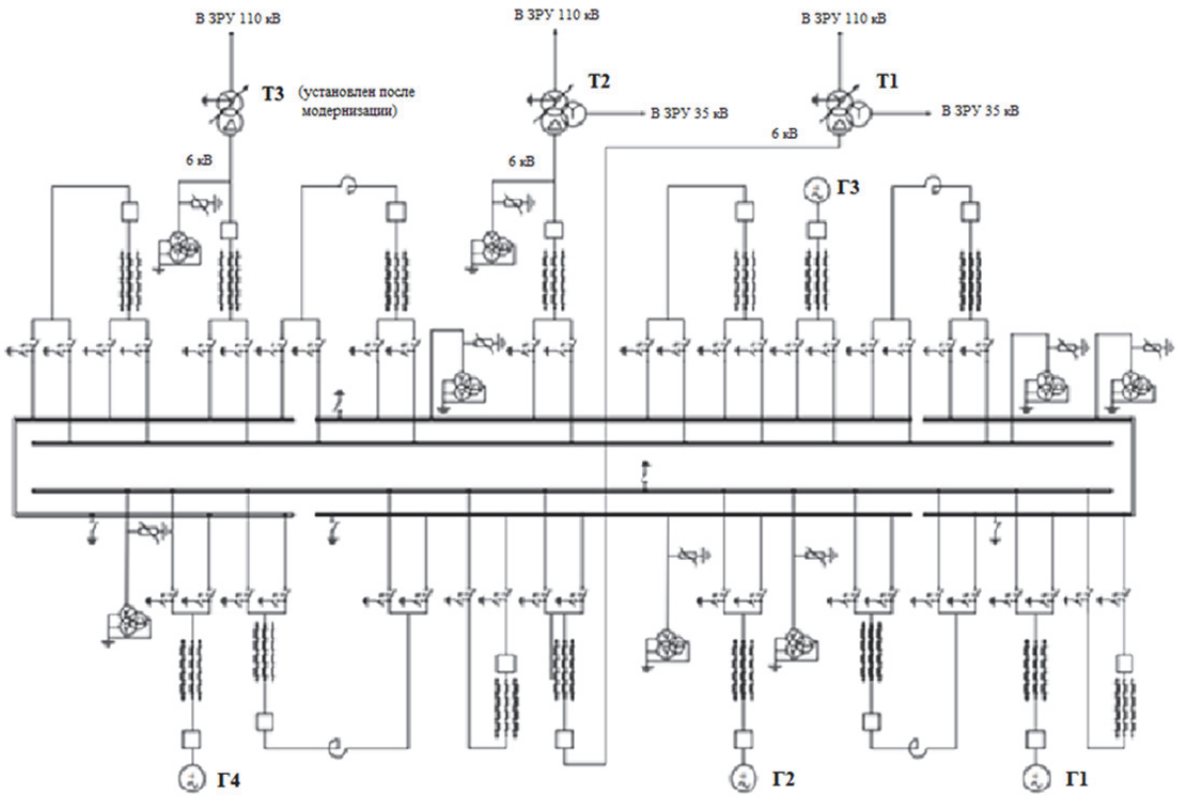


Рисунок 1 – Принципиальная схема ГРУ-6кВ после модернизации

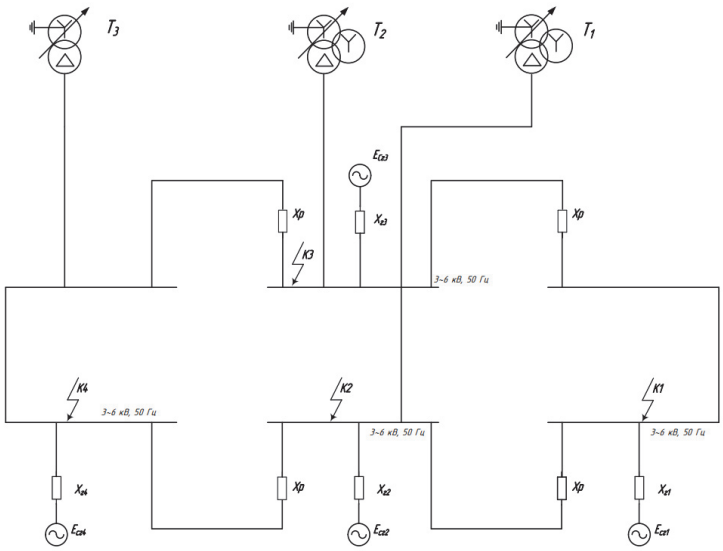


Рисунок 2 – Схема замещения ГРУ 6 кВ ТЭЦ-1 для расчета токов КЗ

В результате проведенных расчетов токов КЗ были выбраны следующие современные марки и типы коммутационных и защитных аппаратов:

- элегазовые выключатели марки ВГГ-20-90/10000 У3,
- токоограничивающие реакторы марки РБДГ-6-4000-0,105,
- трансформаторы напряжения марки ЗНОЛ.06-6 У3 6000/√3 100/√3 100 50 0.5,
- ограничитель перенапряжения типа ОПНп-6,
- трансформаторы тока марки: ТЛП-РПА-6-10р-Х/5 У3.

Все электрические аппараты были проверены по условиям термической и электродинамической стойкости. Дана экономическая оценка реализации замены устаревших коммутационных аппаратов на новые. Расчетный срок окупаемости работ по модернизации рассмотренных элементов ГРУ составил 8 лет.

Для повышения надежности и бесперебойности работы системы электроснабжения был произведен выбор релейной защиты и автоматики, рассчитаны уставки дифференциальной защиты шин и токовводов трансформатора Т3, расчет уставок максимальной токовой защиты, а также сделан выбор газовой защиты.

Проведенный анализ системы электроснабжения Амурской ТЭЦ-1 показал необходимость модернизации ГРУ 6 кВ ТЭЦ-1 для обеспечения требуемой надежности и пропускной способности распределительной сети 6кВ. Ключевым элементом модернизации является установка третьего преобразовательного трансформатора Т3 с напряжениями 110/6 кВ. Основной результат модернизации – устранение существующих ограничений по выдаче мощности. Вместе с этим увеличивается суммарная мощность трансформаторов ГРУ 6кВ, повышается надежность электроснабжения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васильева, А. А. Электрическая часть станций и подстанций / А. А. Васильева. - Москва : Энергия, 2010.

2. Шеховцов, В.П. Расчёт и проектирование систем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования / В.П. Шеховцов.- Москва :ФОРУМ, 2012.-214с.

3. Ткачева, Н. А. Особенности систем электроснабжения в Дальневосточном федеральном округе / Н. А. Ткачева, Ю. И. Ткачева // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 451-453. – EDN JYDJYG.

4. Хорольский В.Я. Надежность электроснабжения : учебное пособие / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М. 2023. – 127с.

5. Марков, В.С. Электрические схемы трансформаторных подстанций и распределительных пунктов сети 6-10 кВ / В.С. Марков; Под.ред.: Вайтеленок Л.В. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 108с

УДК 621.317
Франчук Виктор Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Franchuk Viktor Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Петухов Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Petukhov Alexander Vladimirovich, Senior Lecturer of the «Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies», Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА РАДИОЧАСТОТНОГО АНАЛИЗАТОРА КОРОННОГО РАЗРЯДА

DEVELOPMENT OF A CORONA DISCHARGE RADIO FREQUENCY ANALYZER

Аннотация. Разработано устройство, позволяющее на основе анализа электромагнитного излучения, возникающего в процессе коронного разряда, выявить место возникновения коронного разряда в высоковольтных линиях электропередач. Представлены метод диагностирования мест коронирования, аппаратная часть и программа управления аппаратной частью разработанного устройства. Представлены результаты эксперимента, в процессе которого оценивается спектр электромагнитного излучения при возникновении коронного разряда и спектр электромагнитного излучения в окружающей среде без коронного разряда.
Abstract. A device has been developed that makes it possible, based on the analysis of electromagnetic radiation generated during a corona discharge, to identify the location of the corona discharge in high-voltage power lines. A method for diagnosing coronation sites, hardware, and a hardware management program for the developed device are presented. The results of an experiment are presented, during which the spectrum of electromagnetic radiation in the event of a corona discharge and the spectrum of electromagnetic radiation in the environment without a corona discharge are evaluated.
Ключевые слова: коронный разряд, линия электропередач, электромагнитные колебания, радиочастотный анализ, SDR приёмник, электромагнитный спектр.
Key words: corona discharge, power line, electromagnetic oscillations, radio frequency analysis, SDR receiver, electromagnetic spectrum.

С появлением линий электропередач в электроэнергетической отрасли встала проблема диагностирования коронных разрядов и мест пробоя изоляции на линиях электропередач. Этот вопрос остро стоит в настоящее время.

Вследствие возникновения коронного разряда на линиях электропередач возможно возникновение аварийных режимов, коротких замыканий, разрушение высоковольтной изоляции, появление дополнительных потерь (экономических и энергетических). В случае несвоевременного обнаружения мест коронирования может произойти авария с последующим выключением ЛЭП системами релейной защиты, что приведёт к нарушению электроснабжения потребителей.

Имеющиеся на текущий момент на рынке оптические инфракрасные приборы способны лишь выявлять коронный разряд в ЛЭП, но не оценивать его параметры и проводить его анализ, не способны засекать слабые коронные разряды в светлое время суток, что является существенным их недостатком. Предлагаемое устройство позволяет устранить недостатки характерные для существующих инфракрасных приборов обнаружения коронного разряда. На рисунке 1 представлена функциональная схема разработанного устройства. Она содержит направленную антенну, малошумящий усилитель, с системой цифровой обработки сигнала с возможностью вывода информации о спектре электромагнитных колеба-

ний на компьютер. Принцип работы прибора заключается в следующем: при обходе линии направленная антенная с узкой диаграммой направленности направляется в сторону линии электропередач. В местах возникновения коронного разряда возникает электромагнитное излучение, которое фиксируется антенной. С выхода антенны полученный высокочастотный сигнал поступает на вход усилителя, где усиливается до уровня достаточного для последующей обработки в SDR приёмнике. В SDR приёмнике в цифровом сигнальном процессоре происходит анализ спектра высокочастотного сигнала в соответствии с заложенным алгоритмом управления цифровым фильтром. После обработки информация передаётся в графический интерфейс персонального компьютера в виде графика спектра, а также формируется звуковой сигнал о том, что в данной точке возникает коронный разряд.

Устройство реализовано на основе SDR приёмника HackRF с включенным на его входе малошумящем усилителем. На рисунке 2 представлена блок-схема программно реализованного SDR приёмника, в состав которой входит блок Osmocom Source - выход УПЧ приёмника, High Pass Filter – цифровой высокочастотный фильтр служащий для выделения спектральных ВЧ составляющих, QT GUI Sink – модуль анализатора спектра выводит картинку спектра в диалоговое окно персонального компьютера, Throttle-программный дроссель ограничивает спектр высокочастотных составляющих, Rational Resampler – обеспечивает изменение частоты выборок на своём выходе по отношению к частоте выборок на входе, что необходимо для работы последующих устройств, WBFM Receive блок приёма и обработки сигнала с изменяющейся частотой предназначен для выделения НЧ колебаний характерных для случайного изменения частоты высокочастотного электромагнитного колебания при возникновении коронного разряда.

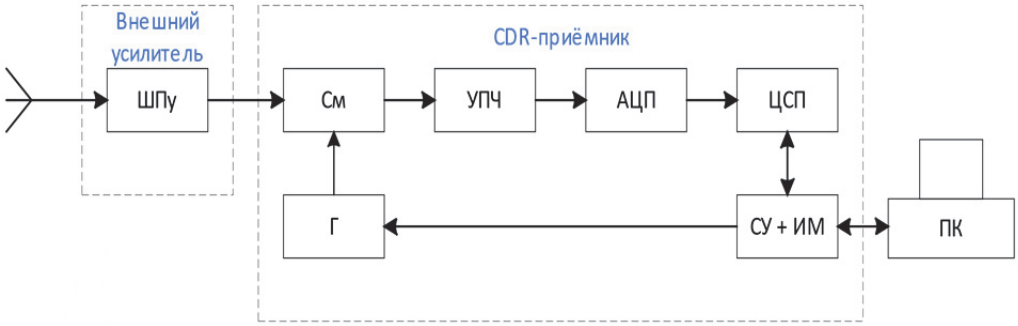


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Блоки Band PASS Filtr – полосовой фильтр выделяет полосу звуковых частот и Multiplay Const - блок умножения сигнала поступающего на вход на константу с функцией передачи сигнала в звуковой порт используются для формирования звукового сигнала о наличии коронного разряда.

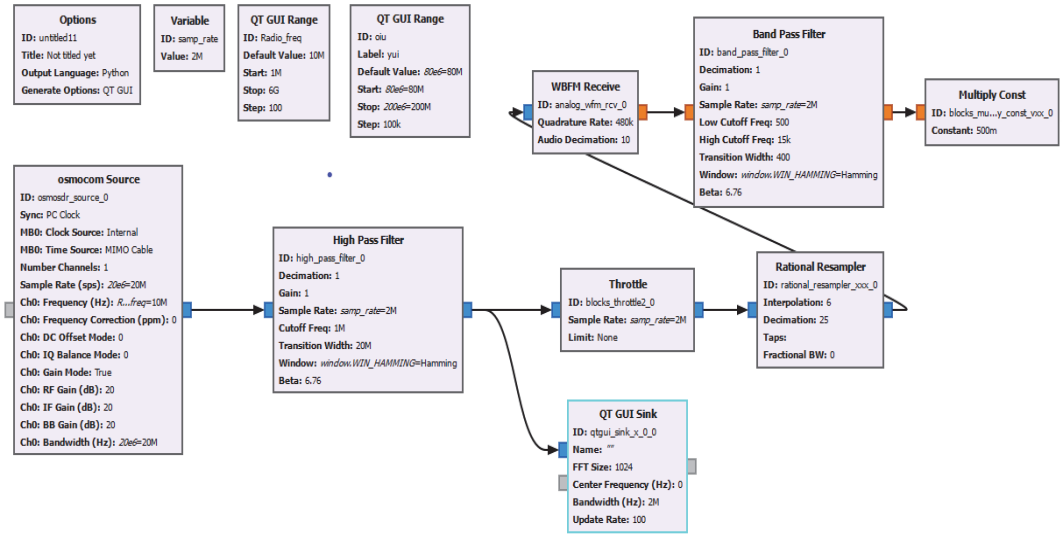


Рисунок 2 – Блок схема программно-реализованного SDR приёмника

Для тестирования разработанного устройства использовался высоковольтный генератор с выходным напряжением 10000 вольт. На рисунке 3 (а) представлен график исходного спектра электромагнитных колебаний, рисунке 3 (б) тот же электромагнитный спектр, но с дополнительными высокочастотными составляющими, возникающими при коронном разряде, полученные результате эксперимента и сформированные в диалоговом окне персонального компьютера.

В настоящее время проводятся дальнейшие исследования по уточнению данных о спектре излучения, зависящие от значения напряжения и мощности коронного разряда. После доработки устройства, изготовления рупорной антенны, уточнённой настройки цифровых фильтров планируется проведение тестирования прибора на объекте электроэнергетического хозяйства.

а б

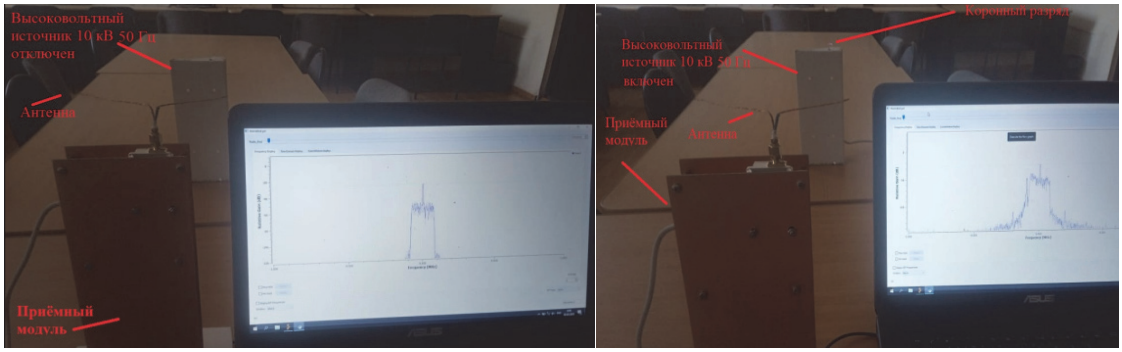


Рисунок 3 – Сравнительные результаты исследования

Разработано устройство, позволяющее на основе анализа спектра электромагнитного излучения, возникающего в процессе коронного разряда, проводить исследование и выявлять в линиях электропередач места возникновения коронных разрядов, пробоя в высоковольтных изоляторах, а также использоваться в качестве детектора определения мест коронирования при проведении профилактических осмотров линий электропередач. Разработанное устройство может устанавливаться на беспилотных летательных аппаратах и наземном транспорте, также использоваться в носимом варианте специалистом, выполняющим плановый осмотр линий электропередач.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стрельцов Н. А., Горячев Н. В., Трусов В. А. SDR-трансиверы и их применение // НиКа. 2014. №. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sdr-transivery-i-ih-primenenie (дата обращения: 30.03.2025).

2. Ушаков, В. Я. (2011). Основные проблемы энергетики и возможные способы их решения. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 319 (4), 5-13.

3. Морозов Б. Н., Соколов Е. Г. Источники внешних высокочастотных помех на линии связи связи широкополосного доступа // T-Comm. 2010. №8. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/istochniki-vneshnih-vysokochastotnyh-pomeh-na-linii-svyazi-svyazi-shirokopolosnogo-dostupa

4. Франчук В. С. Анализ возможности реализации систем поиска и анализа электромагнитных колебаний, вызываемых коронным разрядом / В. С. Франчук, А. В. Петухов // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : материалы Всеросс. науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Комсомольск-на-Амуре, 11-12 декабря 2024 г. Секция. Энергетика, электроника и управление. – 2025. – № 1. – С. 293-295.

УДК 621.316.722

Фёдоров Артём Вячеславович, студент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения
Fedorov Artem Vyacheslavovich., student, Far Eastern State Transport University

Макашева Светлана Игоревна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы электроснабжения», Дальневосточный государственный университет путей сообщения
Makasheva Svetlana Igorevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply Systems, Far Eastern State Transport University

РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ВЫЗОВЫ

VOLTAGE REGULATION IN ISOLATED NEUTRAL DISTRIBUTION NETWORKS: CURRENT APPROACHES AND CHALLENGES

Аннотация. В обзоре рассматриваются современные методы регулирования напряжения в распределительных сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью, анализируются их преимущества и ключевые вызовы. Особое внимание уделяется проблемам перенапряжений при однофазных замыканиях, компенсации реактивной мощности и обеспечению качества электроэнергии. Исследуются такие технологии, как фазоповоротные устройства, линейные регулировочные трансформаторы, системы на основе нечёткой логики, а также международный опыт цифровизации сетей. Предложены практические рекомендации по внедрению активных устройств и адаптивных систем управления. Обзор подчеркивает необходимость интеграции цифровых решений и алгоритмов искусственного интеллекта для повышения устойчивости сетей в условиях роста энергопотребления.
Abstract. The review examines modern methods of voltage regulation in 6-35 kV distribution networks with an isolated neutral conductor, analyzes their advantages and key challenges. Special attention is paid to the problems of overvoltage during single-phase short circuits, reactive power compensation and ensuring the quality of electricity. Technologies such as phase-reversal devices, linear control transformers, fuzzy logic-based systems, as well as international experience in network digitalization are being investigated. Practical recommendations on the implementation of active devices and adaptive control systems are proposed. The review highlights the need to integrate digital solutions and artificial intelligence algorithms to increase network resilience in the face of rising energy consumption.
Ключевые слова: изолированная нейтраль, регулирование напряжения, распределительные сети, перенапряжения, компенсация реактивной мощности, фазоповоротные устройства, нечёткая логика, цифровизация, интеллектуальные системы управления.
Keywords: isolated neutral, voltage regulation, distribution networks, overvoltage, reactive power compensation, phase-reversal devices, fuzzy logic, digitalization, intelligent control systems.

Распределительные сети 6–35 кВ с изолированной нейтралью играют ключевую роль в обеспечении надежного электроснабжения потребителей. Однако их эксплуатация сопряжена с техническими сложностями, такими как перенапряжения при замыканиях на землю и необходимость поддержания качества электроэнергии (КЭ). Целью данного обзора является анализ современных методов регулирования напряжения в таких сетях, систематизация научных исследований и оценка перспективных технических решений.

Сети с изолированной нейтралью обладают рядом преимуществ:

Стабильность напряжения — линейное напряжение остается неизменным даже при замыкании одной фазы на землю, что обеспечивает бесперебойность питания.

Минимальные токи утечки — емкостные токи в нормальном режиме не превышают нескольких ампер.

Устойчивость к коротким замыканиям — система сохраняет работоспособность до устранения неисправности.

Однако ключевой проблемой таких сетей остаются перенапряжения при однофазных замыканиях, что требует разработки эффективных методов регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности.

Анализ литературных источников (РИНЦ, ВАК, Scopus) позволил выделить несколько перспективных подходов:

Фазоповоротные устройства на основе трансформаторов с тиристорными коммутаторами, демонстрирующие способность стабилизировать режим работы сети [2].

Линейные регулировочные трансформаторы продольно-поперечного типа, обеспечивающие раздельное регулирование по фазам и снижение потерь энергии [3].

Интеллектуальные системы с применением нечёткой логики, адаптирующиеся к изменениям нагрузки в реальном времени [5].

Компенсация реактивной мощности с использованием конденсаторных установки и регулируемых реакторов, что особенно актуально для сетей с несимметричной нагрузкой [3].Качество электроэнергии (КЭ) напрямую зависит от стабильности напряжения. Исследования показывают, что внедрение современных устройств, таких как полупроводниковые регуляторы, позволяет снизить отклонения напряжения и гармонические искажения [1]. Однако сохраняются проблемы, связанные с:

Несимметрией нагрузок, влияющей на дисбаланс фаз.

Ограниченной управляемостью традиционных трансформаторов с РПН (регулированием под нагрузкой).

Зарубежные исследования (Scopus, Web of Science) акцентируют внимание на цифровизации сетей и использовании «умных» технологий. Например, работы украинских ученых предлагают методы снижения потерь через оптимизацию структуры сетей, а австралийские исследования [3] подчеркивают экономическую значимость улучшения КЭ для цифровой экономики.

Внедрение активных устройств регулирования (например, фазоповоротных трансформаторов) для минимизации потерь.

Использование систем адаптивного управления, учитывающих реальные параметры нагрузки.

Мониторинг КЭ с применением нечёткой логики для оценки вклада потребителей в ухудшение параметров сети.

Проведенный обзор подтверждает актуальность исследований в области регулирования напряжения в сетях с изолированной нейтралью. Несмотря на разнообразие технических решений, ключевыми вызовами остаются повышение точности управления, интеграция цифровых технологий и снижение стоимости внедрения инноваций. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку комплексных систем, сочетающих преимущества активных устройств и алгоритмов искусственного интеллекта, что позволит обеспечить устойчивое развитие распределительных сетей в условиях растущего энергопотребления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кудин, Р. В. Перенапряжения в сети напряжением 6…35 кВ с изолированной нейтралью / Р. В. Кудин, К. А. Тайна ; науч. рук. М. А. Короткевич // Актуальные проблемы энергетики 2018 [Электронный ресурс] : материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 37-38.

2. Оценка эффективности применения быстродействующих полупроводниковых устройств регулирования в распределительных электрических сетях / В. Н. Тульский, А. С. Ванин, М. Г. Асташев [и др.] // Электротехника. – 2020. – № 10. – С. 37-44. – EDN BWSXRG.

3. Крысанов, В. Н. Снижение потерь активной мощности на узловых подстанциях 110/220 кВ с помощью нечеткого регулятора / В. Н. Крысанов, В. Л. Бурковский, А. Д. Данилов // Проблемы региональной энергетики. – 2019. – № 1(39). – С. 57-69. – DOI 10.5281/zenodo.2650421. – EDN GDHKVS.

4. Evaluating responsibility for voltage unbalance emission in three-phase three-wire networks / Y. Sayenko, D. Kalyuzhniy, V. Bolgov, T. Baranenko // Proceeding of the International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, EPQU : 12, Cracow, 14–15 сентября 2020 года. – Cracow, 2020. – P. 9220312. – DOI 10.1109/EPQU50182.2020.9220312. – EDN WJETBR.

5. S. Elphick, P. Ciufo, V. Smith and S. Perera, "Summary of the economic impacts of power quality on consumers," 2015 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Wollongong, NSW, Australia, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/AUPEC.2015.7324875.

УДК 641.53.09
Хидиров Ёкубджон Бароталиевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Khidirov Yokubjon Barotalievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kopytov Sergey Mihailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗРАБОТКА ТЕРМОСТАТА ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

DEVELOPMENT OF A THERMOSTAT FOR BABY FOOD

Аннотация. В работе предложена структурная схема термостата для подготовки детского питания к приему пищи. Предполагается, что пища находится в индивидуальной упаковке. Термостат обеспечивает как разогрев еды перед ее приемом, так и охлаждение при ее временном хранении. Эти операции выполняет тепловой насос на элементе Пельтье. Для обеззараживания предусмотрено использование ультрафиолетовых диодов. Автоматизацию обеспечивает микроконтроллер, опрашивающий датчики и управляющий исполнительными устройствами.
Abstract. The paper proposes a structural scheme of a thermostat for preparing baby food for meals. It is assumed that the food is in an individual package. The thermostat provides both heating of food before its reception and cooling during its temporary storage. These operations are performed by a heat pump on a Peltier element. Ultraviolet diodes are used for sanitizing. Automatization is provided by a microcontroller that polls sensors and controls actuators.
Ключевые слова: элемент Пельтье, микроконтроллер, часы реального времени, ультрафиолетовые светодиоды, датчик температуры, пьезодинамик.
Key words: Peltier element, microcontroller, real-time clock, ultraviolet LEDs, temperature sensor, piezodynamic.

Проблема искусственного вскармливания малыша доставляет много хлопот матери. Во-первых, процедур кормления значительно больше, чем приемов пищи у взрослых, а их расписание по времени должно быть выдержано точнее. Во-вторых, предъявляются более строгие требования к температуре пищи как во время кормления, так и в процессе ее хранения. Также можно отметить необходимость борьбы с возможным микробным загрязнением. Перечисленные факторы требуют постоянного внимания матери к данному процессу и отвлечения ее от других насущных дел. Поэтому актуальна задача разработки автоматизированного и удобного устройства для хранения и подготовки детского питания, функционирующего в реальном масштабе времени [1].

Целью работы является разработка термостата, позволяющего разогревать и охлаждать детское питание, хранить его определенное время в антибактериальной среде, оповещать о времени приема пищи.

Обычно пища ребенка находится в индивидуальной упаковке, например, в баночке для детского питания. Часто разогрев упаковке проводят в водяной бане. Известно, что воздух является плохим проводником тепла, а его теплоемкость ограничена. Поэтому для обеспечения эффективного теплообмена корпус упаковки должен контактировать с жидкостью (водой), теплоемкость которой высока и которую можно рассматривать как теплоноситель. Этот теплоноситель нагревается или охлаждается в результате контакта с радиатором, прижатым к одной стороне элемента Пельтье [2]. К другой стороне элемента также прижат радиатор, но этот радиатор предназначен для теплообмена с воздухом помещения,

поэтому он обдувается вентилятором. Структурная электрическая схема устройства приведена на рисунке 1.

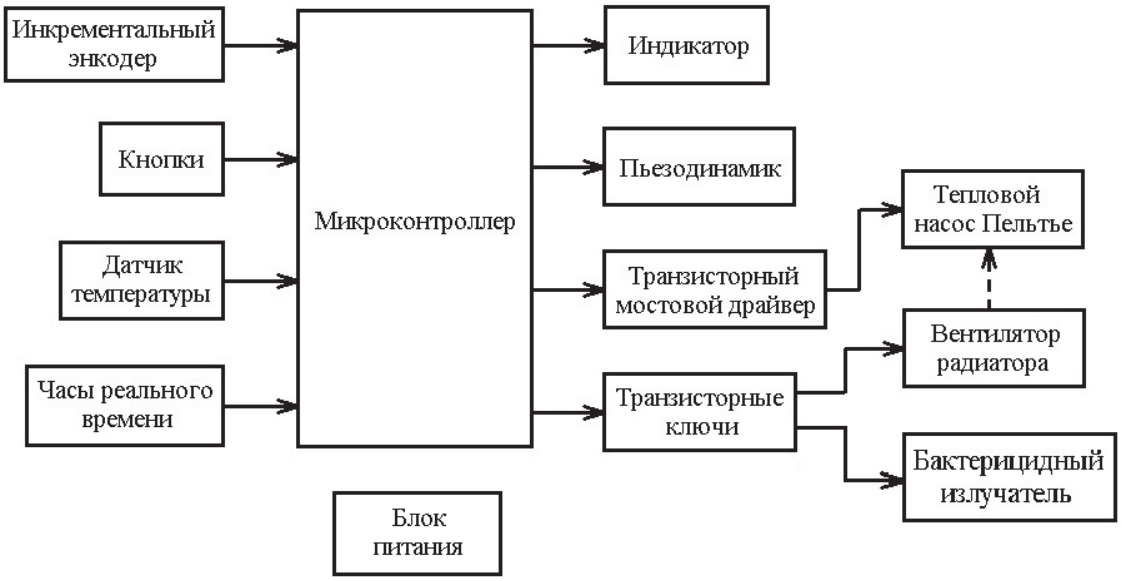


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Автоматическую работу термостата обеспечивает управляющий микроконтроллер. Задача работы в реальном времени решается использованием микросхемы часов RTC с батарейным питанием [3]. Для слежения за температурой теплоносителя использован герметизированный микроэлектронный датчик температуры [3].

Для нагрева и охлаждения теплоносителя применен тепловой насос на основе элемента Пельтье [2]. Ток через элемент Пельтье создает транзисторный мостовой драйвер. Сам элемент установлен в диагональ моста. Изменяя направление тока, можно задавать нагрев теплоносителя или его охлаждение. Элемент Пельтье потребляет достаточно большой ток порядка нескольких ампер. Поэтому необходимо использовать транзисторный мост соответствующей мощности. Удобно применить готовый модуль, обеспечивающий повышенный выходной ток BTS7960 [2].

В данном модуле для регулировки мощности нагрузки предусмотрена возможность широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выходного тока с помощью входного сигнала, получаемого от микроконтроллера. Хотя в некоторых источниках информации не советуют использовать режим ШИМ для регулировки мощности элемента Пельтье из-за снижения времени его службы, однако проведенные экспериментальные исследования показали лишь незначительное ухудшение свойств элемента. Поэтому удобство регулировки мощности с помощью ШИМ перекрывает отмеченный недостаток[4,5].

Бактерицидный излучатель на ультрафиолетовых светодиодах предотвращает микробное загрязнение. Эти диоды, как и двигатель постоянного тока вентилятора, включаются с помощью транзисторных ключей, выполненных по схеме с общим эмиттером.

Пьезодинамик необходим, чтобы привлечь внимание взрослого в заданные временные точки. Символьный индикатор позволяет отображать текущее и установленное время готовности пищи, а также ее температуру. С помощью инкрементального энкодера и клавиатуры вводят соответствующие временные и температурные параметры.

Разрабатываемое устройство может значительно облегчить жизнь матери при искусственном вскармливании младенца. Оно к установленному времени может подогреть пищу, а также охладить ее в летнее время для лучшей сохранности. Особенностью устройства является то, что в нем применен элемент Пельтье, способный работать как нагреватель и как охладитель. Кроме того предусмотрено облучение рабочего объема ультрафиолетовым излучением, что снижает опасность микробного заражения пищи. Органы управления, индикатор и динамик позволяют сделать работу с устройством удобной.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ
1. Красносельский, Д. Термостат-хронометр для детского питания // Радио. – 2007. – № 5. – С. 38-40.
2. Что такое элемент Пельтье, его устройство, принцип работы и практическое применение. – URL: https://www.asutpp.ru/chto-takoe-element-pelte-i-ego-primenenie.html (дата обращения: 25.03.2025).
3. DS1307. Часы реального времени с последовательным интерфейсом и организацией памяти 64x8. – URL: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Maxim/timing/rtc/serial/DS1307.htm (дата обращения: 25.03.2025).
4. Семенов, Б. Ю. Шина I2C в радиотехнических конструкциях / Б. Ю. Семенов. – Москва : СОЛОН-Пресс, 2010. – 224 с.
5. Nagy, M. J., Román, S. The effect of pulse width modulation (PWM) frequency on the reliability of thermoelectric modules. Published in Eighteenth International… 29 August 1999 Engineering, Materials Science Eighteenth International Conference on Thermoelectrics. Proceedings, ICT'99. – URL: https://tetech.com/wp-content/uploads/2013/10/ICT99MJN.pdf (дата обращения: 25.03.2025).

УДК 621.365.31
Цыкунова Анна Андреевна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Tsykunova Anna Andreevna, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сериков Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Serikov Alexander Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОМ НАГРЕВЕ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКЕ

INVESTIGATION OF CURRENT DENSITY DISTRIBUTION DURING ELECTROCONTACT HEATING IN A METAL BILLET

Аннотация. В работе рассматривается проблема неравномерности распределения плотности тока в металлической заготовке в составе электротехнического комплекса электроконтактного нагрева. Для ее решения в работе приведена математическая модель для исследования электрического поля в заготовке. На основе этой модели получена картина распределения электрического потенциала в исследуемой области и сформулирован критерий для оценки неравномерности распределения плотности тока в заготовке.
Abstract. The paper considers the problem of uneven distribution of current density in a metal billet as part of an electrotechnical complex of contactless heating. To solve this problem, the paper presents a mathematical model for studying the electric field in a workpiece. Based on this model, a picture of the distribution of the electric potential in the study area is obtained and a criterion is formulated for assessing the uneven distribution of current density in the workpiece.
Ключевые слова: электрическое поле, плотность тока, металлическая заготовка, токоподвод.
Key words: electric field, current density, metal billet, current lead.

Получивший в последнее время широкое распространение электроконтактный нагрев, непосредственно связан с протеканием высоких токов через исследуемую металлическую заготовку. При этом наблюдается неравномерное распределение плотности тока по всей ее поверхности [1]. Этот эффект соответственно приводит к неравномерности нагрева в зоне токоподвода, что может привести к ухудшению механических характеристик и к снижению качества изготавливаемой детали. Сопротивление в месте контакта между заготовкой и контактным аппаратом играет важную роль в определении величины тока. Неравномерное распределение контактного давления, наличие загрязнений на поверхности кон-

такта приводят к локальным изменениям сопротивления и, как следствие, к неравномерному распределению тока. Величина контактного сопротивления зависит от материала контактного аппарата, усилия нажатия, шероховатости поверхности и температуры [2].

Целью данной работы является анализ распределения плотности тока в металлической заготовке для определения необходимой области фиксации этой заготовки в контактном аппарате.

Задачи работы:

1. Создание математической модели для исследования электрического поля в заготовке.

2. Получение картины распределения электрического потенциала в зоне токоподвода заготовки.

3. Получение рекомендаций для реализации токоподвода к заготовке.

Электротехнический комплекс нагрева металлических заготовок методом электроконтактного нагрева показан на рисунке 1. Важным элементом комплекса является трансформатор 4. В качестве нагрузки которого используется заготовка 3, которая крепится в установке с помощью контактного аппарата 5. Электрический ток к заготовке поступает от вторичной обмотки трансформатора через медные шинопроводы 7 и гибкие токоподводы 6 [3; 4].

Токоподвод к заготовке осуществляется с помощью многожильного гибкого кабеля круглого сечения, подключенного к торцу контактного аппарата с помощью болтового разъемного соединения. При этом распределение тока в непосредственной зоне токоподвода будет неравномерным. Фиксация заготовки в контактном аппарате должна производиться таким образом, чтобы ток в заготовке протекал равномерно (рисунок 2). На распределение плотности тока оказывает влияние конструкция контактного аппарата. Степень неравномерности распределения плотности тока можно оценить на основе анализа электрического поля.

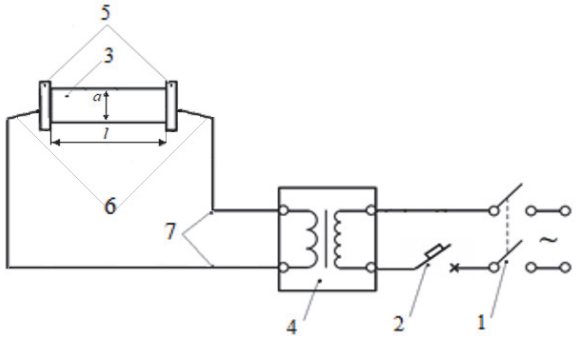


Рисунок 1 – Электротехнический комплекс нагрева металлических заготовок:
1 – выключатель сети; 2 – автоматический выключатель; 3 – заготовка;
4 – трансформатор; 5 – контактный аппарат; 6 – гибкие токоподводы; 7– шинопроводы

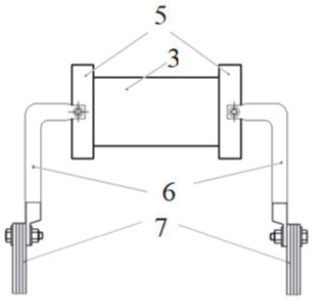


Рисунок 2 – Схема токоподвода: 6 – гибкие токоподводы; 7 – медные шинопроводы

Электрическое поле в области исследования является статическим плоскопараллельным и описывается двухмерным дифференциальным уравнением второго порядка в прямоугольной системе координат [5]:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0,$$

где U – электрический потенциал; x, y – значения координат по соответствующим осям.

На внешней границе области исследования, через которую не протекает электрический ток, выполняется граничное условие второго рода (рисунок 3):

$$\frac{\partial U}{\partial n} = \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial y} = 0,$$

где n – внешняя нормаль к границе.

На границе, где осуществляется токоподвод, выполняются граничные условия первого рода U_0=1, а на достаточно большом удалении от токоподвода распределение плотности электрического тока будет равномерным и задаются граничные условия первого рода U=0 (рисунок 3). При моделировании в системе расчета физических полей ELCUT методом конечных элементов получили картину распределения электрического потенциала (рисунок 4, а).

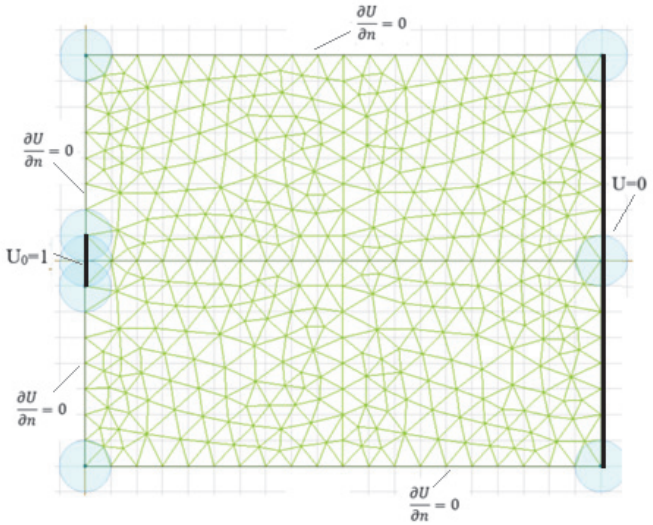


Рисунок 3 – Область исследования

а) б)

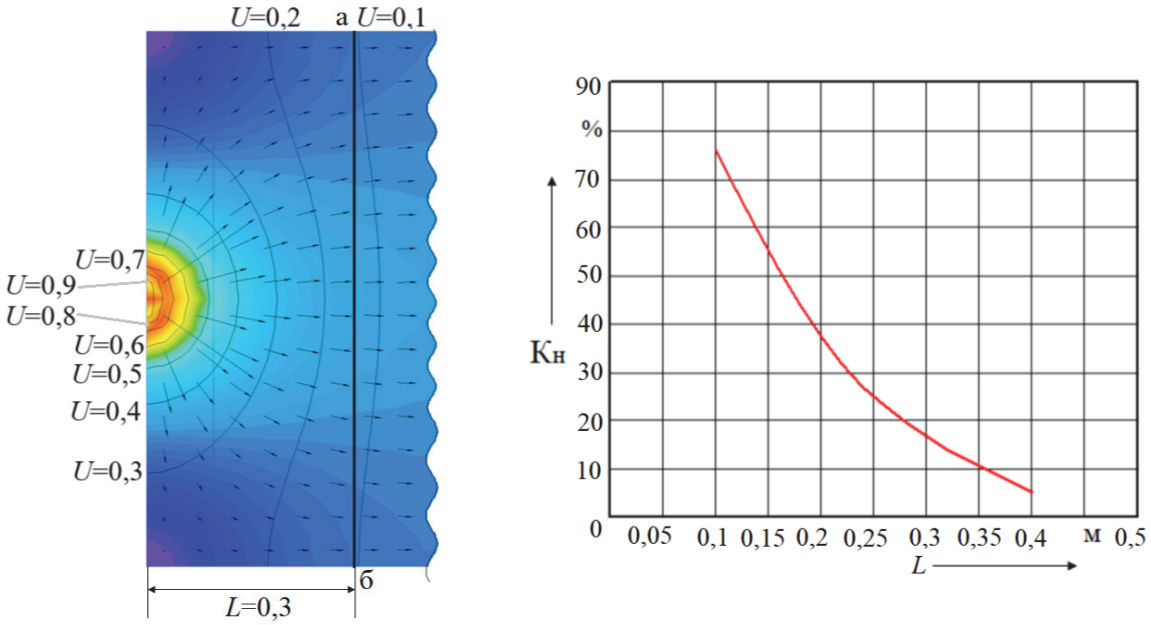


Рисунок 4 – Результаты моделирования (а) и исследования (б)

Оценка неравномерности распределения плотности электрического тока в исследуемой области проведена с помощью критерия $К_н$, который определялся по формуле:

$$К_н = \frac{\delta_y}{\delta_x} \cdot 100\%,$$

где δ_x, δ_y – составляющие плотности тока по координатным осям x и y.

Необходимые составляющие плотности тока в каждом узле конечно-элементной сетки области исследования вычисляются по формулам:

$$\delta_x = -\gamma \frac{\partial U}{\partial x} \; ; \; \delta_y = -\gamma \frac{\partial U}{\partial y},$$

где γ – удельная электрическая проводимость материала заготовки.

Критерий Кн определялся на расстоянии L от края заготовки. По потенциалам U вдоль рассматриваемой линии определялись составляющие плотности тока и сам критерий Кн. На рисунке 4, б показано распределение критерия Кн вдоль заготовки. По полученному графику можно определить необходимое расстояние на заготовке для фиксации токоподвода в контактном аппарате. Кроме этого, результаты моделирования позволяют обосновать конструкцию контактного аппарата с элементами крепежа заготовки.

Таким образом, в работе был проведен анализ неравномерного распределения электрического потенциала по всей поверхности металлической заготовки. При определении степени неравномерности распределения потенциала, была создана математическая модель для исследования электрического поля в заготовке. В результате моделирования получили картину распределения электрического потенциала в зоне токоподвода исследуемой области в программе ELCUT методом конечных элементов. Кроме того, в работе был сформулирован критерий неравномерности распределения плотности тока в исследуемой области при реализации токоподвода к заготовке. Анализ результатов моделирования приведен в виде графика зависимости критерия неравномерности от длины заготовки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гришенцев, А. Ю. Моделирование распределения плотности тока в сложном неоднородном проводнике. Часть 1 / А. Ю. Гришенцев // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2006. – № 29. – С. 87-94. – EDN JSPSIL.

2. Кокцинская, Е. М. Влияние толщины защитного металлического покрытия на сопротивление электрического контакта / Е. М. Кокцинская // Видеонаука. – 2017. – № 3(7). – С. 5. – EDN ZHNAAJ.

3. Цыкунова, А. А. Электротехническая система нагрева металлических заготовок перед штамповкой / А. А. Цыкунова, А. В. Сериков // Электропривод на транспорте и в промышленности : материалы III Всероссийской научно-практической конференции : посвящается 60-летию кафедры «Электротехника, электроника и электромеханика», Хабаровск, 19–20 октября 2023 года. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 62-67. – EDN VFZKRQ.

4. Цыкунова, А. А. Способы термической обработки заготовок перед штамповкой/ А. А. Цыкунова, А. В. Сериков // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 11–12 декабря 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 299-303.

5. Сериков, А. В. Электронагревательные элементы и устройства трансформаторного типа для систем теплоснабжения: монография / А. В. Сериков, В. М. Кузьмин; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Комсомольский-на-Амуре гос. технический ун-т". – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 246 с. – ISBN 978-5-8044-1307-2. – EDN QNQCKH.

УДК 629.423 + 06

Шевкунова Анастасия Владимировна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Shevkunova Anastasiya Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, «Rostov State Transport University»

Ольховатов Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Olkhovatov Dmitriy Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, «Rostov State Transport University»

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТИРИСТОРНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

SIMULATION OF THE OPERATION OF A THYRISTOR RECTIFIER

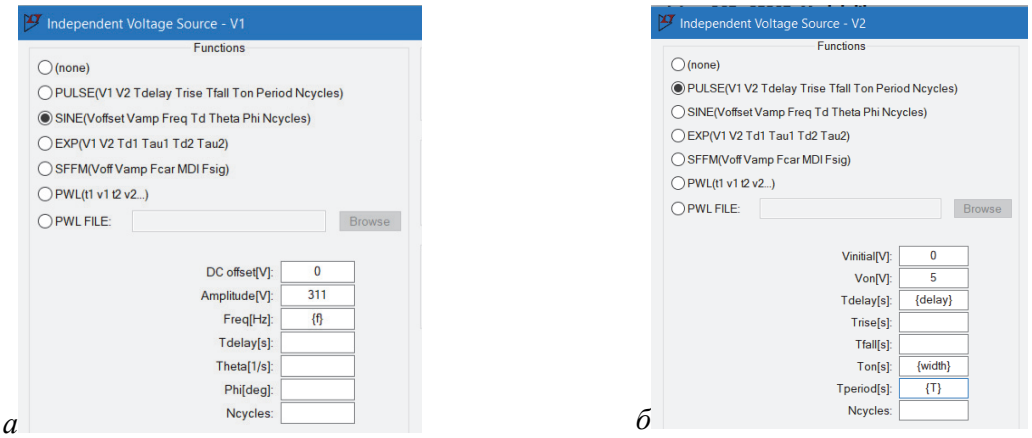
Аннотация. Произведено моделирование работы управляемого мостового однофазного двухполупериодного тиристорного выпрямителя с помощью программы для моделирования электронных схем LTspice. Внедрена в симулятор сторонняя библиотека с однооперационными тиристорами. Составлена схема силовой части выпрямителя и сымитировано импульсно-фазовое управление. Получены зависимости, демонстрирующие работу выпрямителя, и сделаны соответствующие выводы.
Abstract. The operation of a controlled bridge single-phase two-half-period thyristor rectifier has been simulated using the LTspice electronic circuit modeling program. A third-party library with single-operation thyristors has been implemented in the simulator. A circuit of the power part of the rectifier has been drawn up and pulse-phase control has been simulated. Dependences demonstrating the operation of the rectifier are obtained, and corresponding conclusions are drawn.

Зачастую при выполнении различных производственных задач для систем электроснабжения возникает необходимость регулирования параметров электроэнергии. Для этих целей используются специальные преобразователи параметров электроэнергии, созданные на основе элементов силовой электроники.

Тиристорные выпрямители используются для преобразования переменного тока (AC) в постоянный ток (DC) с возможностью регулирования выходного напряжения. Они нашли свое применение в промышленных установках, системах управления электроприводами, и других устройствах, где требуется точное управление мощностью и напряжением. Тиристорные выпрямители обеспечивают высокую эффективность, надежность и возможность плавного регулирования параметров выходного сигнала. Целью данной работы является моделирование и анализ работы управляемого мостового однофазного двухполупериодного тиристорного выпрямителя с использованием бесплатного и эффективного симулятора LTSpice. LTspice – это программа для моделирования электронных схем, разработанная компанией Analog Devices [1]. Ее основное назначение заключается в анализе и проектировании аналоговых, цифровых и смешанных схем. К преимуществам данного симулятора можно отнести высокую скорость моделирования, поддержку широкого спектра компонентов, возможность анализа переходных процессов, частотных характеристик и шумов, а также бесплатное распространение. Программа отличается довольно удобным интерфейсом и совместимостью со SPICE-моделями, за что она и получила широкое распространение среди исследователей в области электроники и электротехники [2, 3].

Рассмотрим алгоритм создания схемы тиристорного выпрямителя для изучения принципов работы в используемом симуляторе и применения некоторых полезных функций интерфейса. В базовой поставке программы нет библиотеки с тиристорами. Загружаем библиотеку с однооперационными тиристорами с соответствующего сайта и внедряем ее в симулятор. Для дальнейшей работы с библиотекой тиристоров необходимо добавить на поле построения моделей специальную директиву: «.inc Thyristor_SCR_EC103xx.lib». После добавления схемного элемента тиристора (SCR – однооперационного тиристора) на наборное поле симулятора, связываем конкретную модель тиристора (EC103D1) с этим компонентом, заменив SCR на точное наименование выбранной модели.

Путем инструмента «Copy» расставляем и соединяем четыре тиристора на наборном поле по мостовой схеме. Обязательно добавляем заземляющий проводник (специфика программы). Далее включаем в диагональ моста источник напряжения «Voltage». Для генерации синусоидального напряжения создаем директиву «.param f=50 T=1/f», которая задает частоту напряжения и его период, а также непосредственно в настройках источника вводим значения следующих параметров (рисунок 1, *а*).



а *б*

а – синусоидального (*V*1); *б* – пульсирующего (*V*2)

Рисунок 1 – Параметры источников напряжения

Включаем в схему некоторую активную нагрузку (*R*=10 Ом).

Ввиду того, что тиристор – это управляемый электронный ключ [4, 5], сымитируем систему импульсно-фазового управления (СИФУ).

На тиристоры должны поступать открывающие импульсы. Управляющий импульс подается всегда относительно катода, поэтому сделаем отводы, к которым подключен отрицательный полюс генератора импульсов. Далее обозначим данные отводы метками («Label Net»): *N*1 и *N*2.

Для управления положительными полюсами добавляем отводы: *G*1, *G*2, *G*3 и *G*4. Для симулятора это означает, что провода, обозначенные указанными буквами, хотя и визуально разделены, электрически соединены между собой. Применение технологии меток дает возможность составлять компактные, наглядные и удобные для изучения схемы.

Следующий шаг – имитация управления выпрямителем. Ввиду принципа работы рассматриваемого типа тиристорного выпрямителя [4, 5], введем еще несколько важных и необходимых параметров.

Первый параметр – регулируемый угол открытия тиристоров. Для это вводим директиву: «.param alpha=20». Для связывания данного угла с моментом времени подачи открывающего импульса, введем второй параметр – задержка: «.param delay= alpha*T/360». Таким образом, меняя угол alpha, появляется возможность регулировать задержку. Третий параметр – ширина управляющего импульса: «.param width=30u» (т.е., 30мкс).

Используя заданные параметры, можно генерировать управляющие импульсы для первого тиристорного ключа (*U*1). Для этого в свойствах источника (*V*2) зададим определенные значения (рисунок 1, *б*), которые позволят сымитировать формирование серии прямоугольных импульсов.

Для управления третьим тиристором (*U*3) создадим аналогичный источник прямоугольных импульсов, но с другими соответствующими метками. Другая диагональ моста открывается на отрицательном полупериоде, соответственно, это будут те же импульсы, но смещенные относительно первых на половину периода. Копируем источники, меняя названия меток и значение параметра Tdelay = {delay+T/2}.

Полученная схема тиристорного выпрямителя представлена на рисунке 3. Запустим процесс имитации, приняв расчетное время 0,02 с (.tran 0.02) и меняя значения параметров alpha и width (рисунки 4 и 5).

Полученные зависимости (*I*(*t*), *V*1(*t*) и *V*2(*t*)) показывают, как соотносится выпрямленный, пульсирующий ток с подачей импульсов на соответствующие ключи (*U*1 и *U*3 – зеленая линия, *U*2 и *U*4 – синяя линия). Видно, что вначале ток через нагрузку не протекал, через 5,5 мс, на положительной полуволне, подается отпирающий сигнал на нечетную диагональ моста, а через половину периода на отрицательной полуволне открываются ключи *U*2 и *U*4.

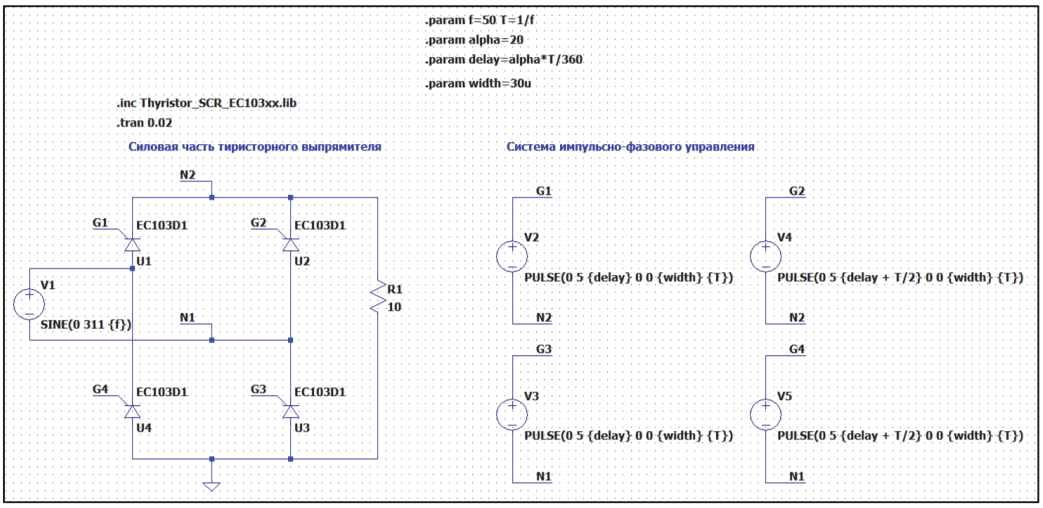


Рисунок 3 – Схема тиристорного выпрямителя в программе LTSpice

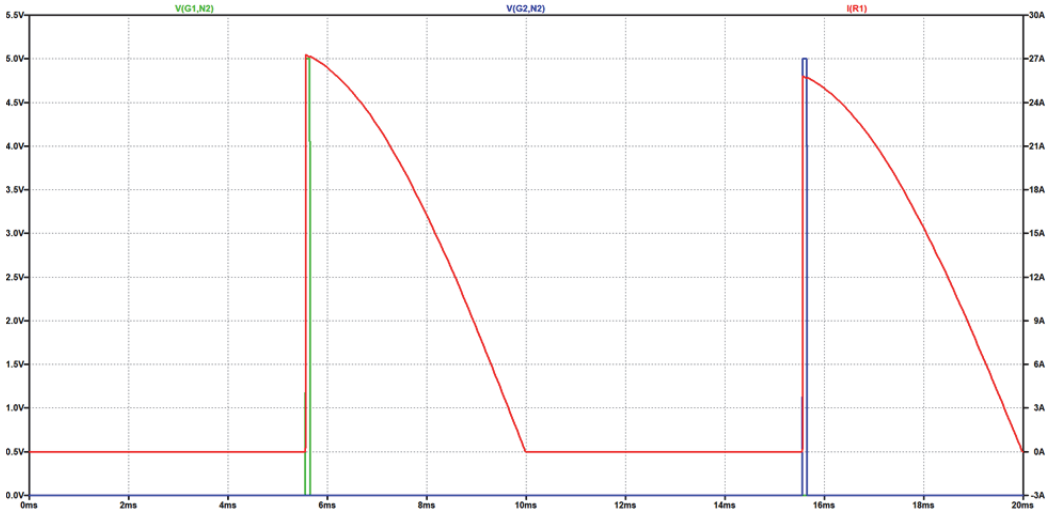


Рисунок 4 – Зависимости $I(t)$, $V1(t)$ и $V2(t)$ при значениях width=80u и alpha=100

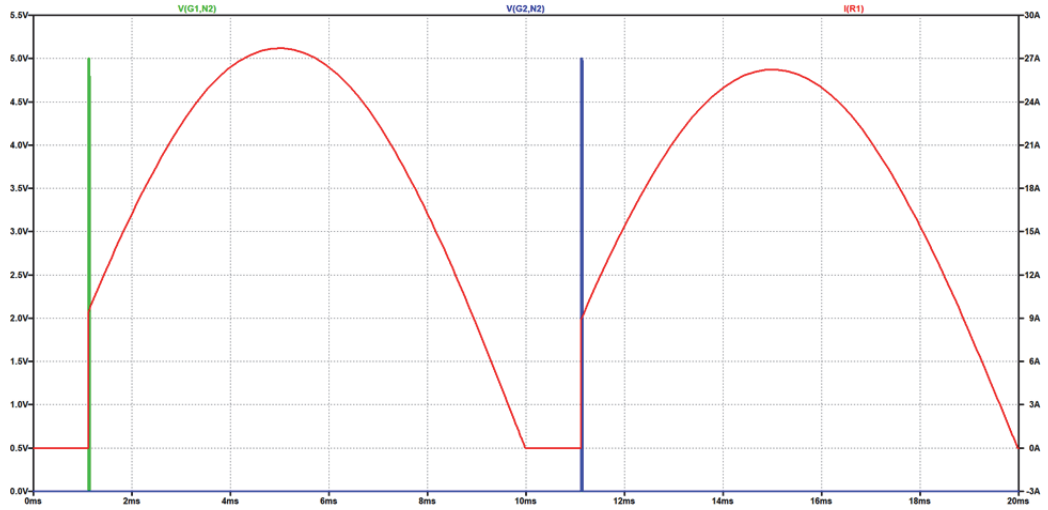


Рисунок 5 – Зависимости $I(t)$, $V1(t)$ и $V2(t)$ при значениях width=30u и alpha=20

Среднее значение тока в первом случае составило $I_{averagy}$ = 7,06 А, во втором – $I_{averagy}$ = 16,64 А (t = 0,02 с).

Таким образом, в результате проведенного исследования, можно сделать вывод, что программа LTspice представляет собой достаточно эффективный и удобный инструмент для моделирования и анализа электронных схем. Полученные результаты имитационного моделирования показывают, что регулирование угла открытия тиристоров необходимо для

управления мощностью в электрических цепях путем изменения среднего значения напряжения или тока на нагрузке. Данное техническое решение позволит оптимизировать энергопотребление, обеспечить плавный пуск и регулирование скорости электродвигателей, а также стабилизировать параметры работы электронных устройств.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. LTSpice : официальный сайт. – 1997–2025. – URL : https://ltspice.softonic.ru/ (дата обращения: 23.03.2025).

2. Шевкунова, А. В. Исследование работы однофазного инвертора напряжения / А. В. Шевкунова // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 505-509.

3. Володин, В. Многовариантный анализ в LTspice / В. Володин // Компоненты и технологии. – 2022. – № 1(246). – С. 79-83.

4. Васюков С.А. Исследование неуправляемых и управляемых выпрямителей: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы по курсу «Электротехника и электроника» С.А.Васюков, О.И. Мисеюк – М.: Изд. – во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2023 – 33 с.

5. Константинов, А.М. Силовая электронная техника и преобразователи : учебное пособие / А.М. Контантинов. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2020. – 111 с.

УДК 681.5

Шушарин Никита Станиславович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shusharin Nikita Stanislavovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сухоруков Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sukhorukov Sergei Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Electric Drive and Automation of Industrial Installations", Komsomolsk-na-Amure State Universit

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ 3D-ПЕЧАТИ

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNICAL IMPLEMENTATION OPTIONS FOR ADVANCED PROCESSING OF THE 3D PRINTING CONTROL PROGRAM

Аннотация. В статье рассмотрены два подхода по обработке управляющей программы печати для роботизированного комплекса 3D-печати металлов с применением технологии DED. Проведена экспериментальная апробация данных двух подходов и определен более предпочтительный способ предварительной обработки управляющей программы на базе разработанного роботизированного комплекса.

Abstract. The article discusses two approaches to processing the printing control program for a robotic 3D metal printing complex using DED technology. Experimental testing of these two approaches has been carried out and a more preferable method of preprocessing the control program based on the developed robotic complex has been determined.

Ключевые слова: аддитивные технологии, роботизированный комплекс, алгоритм обработки, промышленный логический контроллер, панель оператора

Key words: additive technologies, robotic complex, processing algorithm, industrial logic controller, operator panel

На сегодняшний день в промышленном производстве металлических изделий наиболее распространены две основных технологии: литье и механическая обработка. Однако у них есть свои недостатки, такие как ограничения в создании сложных внутренних структур изделия и большие затраты материала. Для преодоления этих проблем на данный момент активно развиваются и внедряются аддитивные технологии [1; 2].

В Комсомольском-на-Амуре государственном университете разработан и активно совершенствуется экспериментальный образец роботизированного комплекса для трехмерной печати металлических изделий с использованием технологии Directed Energy Deposition (DED). Этот комплекс предназначен для создания сложных металлических структур путем послойного нанесения металла, расплавляемого лазером из проволоки [3].

Для корректной работы комплекса необходимо обеспечить стабильную обработку файла управляющей программы печати конкретного изделия. Основной особенностью таких программ является большой объем текстового файла с программой (количество команд для печати одного изделия может достигать сотен тысяч, а при печати крупногабаритных изделий эта величина составит миллионы команд). При формировании данного файла управляющей программы используется ранее разработанная система команд [4] учитывающая особенности оборудования, входящего в состав комплекса.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа различных подходов к обработке управляющих программ для 3D-печати с применением такого роботизированного комплекса. В результате анализа будет определен вариант, обеспечивающий наиболее стабильное функционирование при обработке управляющих программ различных объемов.

Описание системы управления роботизированного комплекса

Система управления разрабатываемого комплекса трехмерной печати на основе промышленного робота манипулятора базируется на промышленном логическом контроллере (ПЛК). ПЛК осуществляет общее управление комплексом: обрабатывает команды из управляющей программы, передает команды подчиненным исполнительным устройствам, получает ответные сигналы от данных устройств. Обобщенная структурная схема системы управления представлена на рисунке 1.

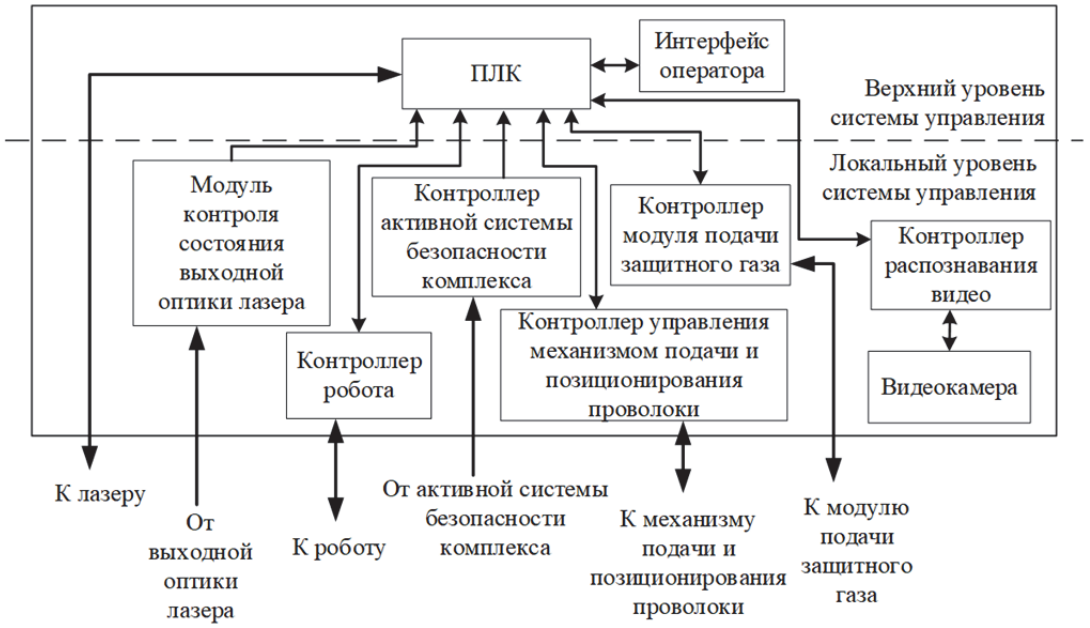


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема системы управления роботизированного комплекса трехмерной печати металлами

Для хранения и обработки управляющих команд в памяти ПЛК были созданы специализированные области, организованные в виде очереди команд. Поскольку необходимо обеспечить последовательный перебор команд, использованы массивы, элементы которых представляют собой структуры, содержащие параметры команд. Это позволило сформировать отдельные массивы для различных типов команд, группируя их в специализированных

базах данных в памяти ПЛК. Для корректной последовательной обработки организован главный массив-очередь, содержащий ссылки на соответствующие базы данных и статусы команд, что обеспечивает упорядоченный доступ к управляющим данным [5].

Чтение управляющей программы с флеш-накопителя напрямую контролёром связано со значительными трудностями, поэтому при разработке комплекса предлагается опробовать два различный подхода по обработке управляющей программы, с целью определения более стабильного решения.

Подход 1: Обработка управляющей программы с использованием панели оператора

Первый подход к обработке управляющих программ включает использование панели оператора HMI TP700 Comfort для чтения управляющих файлов с флеш-накопителя и последующей записи команд в память ПЛК Siemens S7-1500. Процесс обработки реализован с использованием скрипта, написанного на языке Visual Basic, который последовательно считывает строки из текстового файла, распознает команды и их параметры, а затем записывает эти данные в массивы очереди команд в памяти ПЛК (рисунок 2).

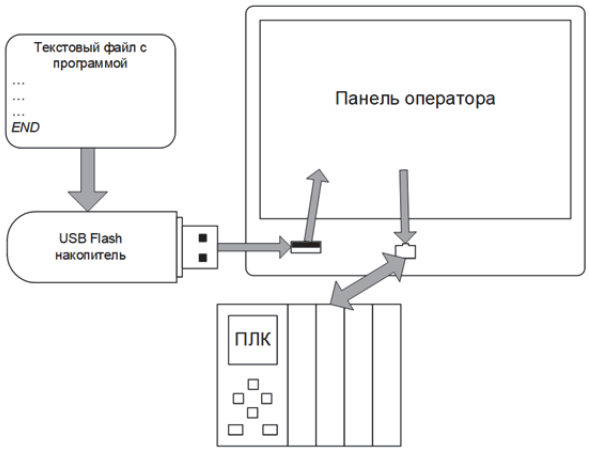


Рисунок 2 – Реализация первого подхода

Основным преимуществом данного подхода является его простота интеграции с используемым промышленным оборудованием, поскольку связь между двумя устройствами организована по протоколу ProfiNET, предоставляемой компании Siemens. Однако, при практической реализации такого подхода и на основании опыта длительной экспериментальной апробации было выявлено, что процесс записи в память ПЛК останавливается на случайном этапе обработки файла управляющей программы, несмотря на то, что пользовательская программы продолжает исполняться, не принимая статус ошибки.

Еще одной проблемой при такой реализации обработки файла управляющей программы является нештатный порядок запуска скрипта в панели оператора – изначально технология скриптов предназначена для многократного кратковременного вызова и исполнения, а при использованном подходе скрипт вызывался однократно на весь период печати.

Подход 2: Обработка на внешнем компьютере с использованием Snap7

Альтернативным решением стало использование внешнего компьютера с ОС Ubuntu 24.04. Данный выбор был обусловлен необходимостью обеспечения высокой стабильности и быстродействия системы, поскольку Linux-системы, в частности Ubuntu, характеризуются большей предсказуемостью работы в сравнении с Windows в условиях высоконагруженных вычислений (рисунок 3).

Для взаимодействия с ПЛК используется библиотека Snap7, которая обеспечивает обмен данными по промышленному протоколу S7.

В этом подходе алгоритм обработки управляющих программ реализован на языке C и использует возможности Snap7 для отправки запросов к ПЛК на чтение и запись данных.

Данный подход был протестирован на управляющих программах с количеством команд свыше 1000, при этом система продемонстрировала стабильную работу без сбоев, в отличие от первого варианта.

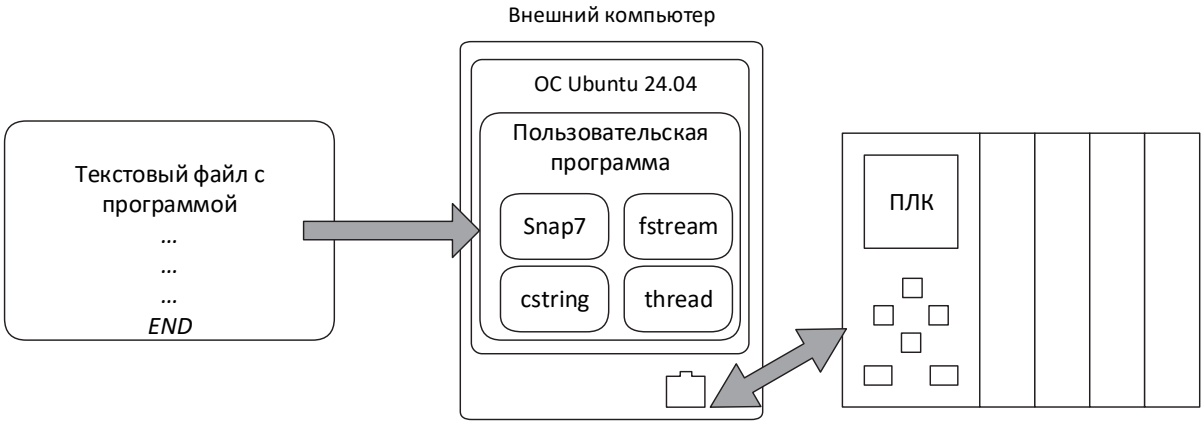


Рисунок 3 – Реализация второго подхода

В ходе исследования были рассмотрены два подхода к предварительной обработке управляющих программ для 3D-печати. Первый подход, основанный на использовании панели оператора, показал свою эффективность при небольших объемах данных, однако при увеличении количества команд в файле управляющей программы возникали проблемы со стабильностью записи данных в память ПЛК. Второй подход, реализованный на внешнем компьютере с использованием библиотеки Snap7, позволил обеспечить стабильную обработку и передачу данных в определенные области памяти ПЛК при больших объемах управляющих программ (более 1000 команд). Широкий функционал библиотеки Snap7 значительно упростил процесс программирования, так как многие задачи, такие как парсинг команд и взаимодействие с ПЛК, уже реализованы в виде готовых методов. Это не только сократило время разработки, но и минимизировало риск ошибок, связанных с ручной настройкой протоколов связи. Таким образом, использование внешнего компьютера с Ubuntu 24.04 и библиотекой Snap7 является более предпочтительным решением для обработки управляющих программ в разработанном роботизированном комплексе трехмерной печати металлических изделий.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на 2024-2026 годы по теме «Автоматизация авиастроительных производств с применением средств промышленной робототехники».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лысыч, М. Н. Обзор современных технологий 3д печати / М. Н. Лысыч / Области применения технологий 3д печати. - Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия, 2014. - С. 26-30.

2. Богданов Д.Е. Технология 3d-печати как триггер четвертой промышленной революции: новые вызовы перед правовой системой / Вестник Пермского университета. Юридические науки. 2019. № 44. С. 238- 260.

3. Шушарин Н.С., Сухоруков С.И. Особенности реализации формирования очереди команд в ПЛК посредством панели оператора / В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 233-235.

4. Sukhorukov, S. Shusharin, N. Command System for a Robotic 3D Printing Complex Using DED Technology / Proceedings - 2024 International Russian Smart Industry Conference, SmartIndustryCon 2024, 2024, страницы 184–189

5. Ефремов М.А., Фролов Н.Д., Миронов В.А., Егоров И.В. Разработка конвертера управляющих g-кодов в команды промышленного робота / В сборнике: Научный потенциал молодежи и технический прогресс. материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 14-16.

УДК 621.3
Яненко Александр Владимирович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ianenko Aleksandr Vladimirovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Соловьев Вячеслав Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет.
Soloviev Vyacheslav Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electric Drive and Automation of Industrial Installations, Komsomolsk- na-Amure State University.

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ «КЛИЕНТ – УМНЫЙ ДОМ»

ON THE ISSUE OF BUILDING A CONTROL SYSTEM “CLIENT – SMART HOME”

Аннотация. Работа посвящена актуальной проблеме создания унифицированной системы управления "умным домом". Предлагается двухуровневая архитектура системы управления, где нижний уровень обеспечивает взаимодействие между разнородными устройствами и микроконтроллером, а верхний уровень предоставляет пользователю интуитивно понятный интерфейс для управления со смартфона. Рассмотрены основные функциональные группы устройств "умного дома. В качестве микроконтроллера нижнего уровня предложено использование платформы Arduino. Обоснован выбор беспроводных технологий для организации связи между компонентами системы. Сделан вывод о возможности решения проблемы несовместимости устройств различных производителей путем создания унифицированной программно-аппаратной платформы на базе Arduino и Android.
Abstract. The paper is devoted to the urgent problem of creating a unified control system for a "smart home". A two-level architecture of the control system is proposed, where the lower level ensures interaction between heterogeneous devices and a microcontroller, and the upper level provides the user with an intuitive interface for control from a smartphone. The main functional groups of "smart home" devices are considered. The Arduino platform is proposed to be used as a lower-level microcontroller. The choice of wireless technologies for organizing communication between system components is substantiated. A conclusion is made about the possibility of solving the problem of incompatibility of devices from different manufacturers by creating a unified software and hardware platform based on Arduino and Android.
Ключевые слова: архитектура, интерфейс, группа устройств, беспроводные технологии.
Key words: architecture, interface, device group, wireless technologies.

В настоящее время огромное количество фирм, производителей электротехнического оборудования, наделяют свою продукцию дополнительно встраиваемой функцией удаленного (дистанционного) управления режимами работы. Как правило, реализация данной функции ориентирована на применение смартфона и поскольку каждая фирма при создании оборудования ориентирована на использование своих аппаратно-программных средств, то IT – рынок программных приложений отличается очень большим разнообразием. При этом очень часто имеющиеся приложения программно несовместимы [1]. Для решения этих проблем некоторые компании начинают разрабатывать универсальные платформы и протоколы, которые могут обеспечить совместимость между различными устройствами и приложениями. Например, такие технологии, как MQTT, Zigbee и Z-Wave, а также использование облачных решений, могут помочь в создании более интегрированных и совместимых систем. В конечном итоге, для пользователей важно обращать внимание на совместимость устройств и наличие открытых стандартов, чтобы избежать проблем с интеграцией и управлением различными устройствами в одной экосистеме. С точки зрения «пользователя» умного дома целесообразно иметь возможность управлять различными «объектами» умного дома от одного приложения. Данное условие будет отражаться на структуре системы управления «объектами» умного дома, которая должна выполняться

как минимум двухуровневой (см. рисунок 1.). В задачу системы управления нижнего уровня будет входить увязка разнородных программных средств управления «объектами» и обмен данными между «объектами» умного дома и микроконтроллером нижнего уровня. А задачей системы управления верхнего уровня будет являться обмен данными между смартфоном пользователя и микроконтроллером нижнего уровня через интуитивно понятный интерфейс. Весь спектр устройств анализируемых и управляемых МК нижнего уровня условно можно разбить не несколько функционально связанных групп. Это датчики контроля безопасности и климата [2]. Набор управляемых устройств бытового назначения (микроволновые печи, духовые шкафы, роботы пылесосы, стиральная и посудомоечная машина). В перспективе к этой группе можно будет отнести и роботы, способные приготовлять пищу, используя холодильник, электро или газовую плиту и другие бытовые устройства. Устройства, гарантирующие безопасность существования и проживания в жилом помещении, (датчики огня, газа, дыма, протечки воды и другие анализаторы, системы видео наблюдения) [3]. Подсистемы регулирования освещением в зависимости от времени суток, (регулируемые шторы, датчики освещённости) [4]. Подсистемы климатического регулирования в зависимости от времени года (кондиционеры, тёплые полы, бойлеры) [5].

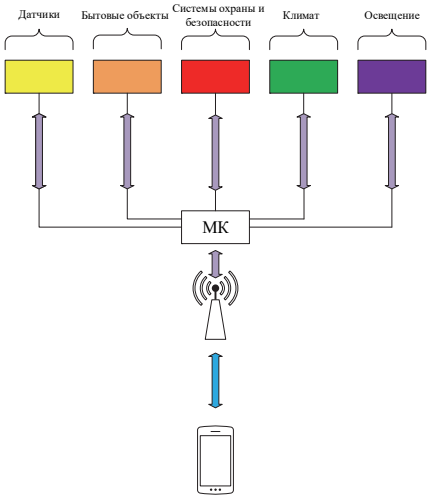


Рисунок 1 – Функциональная схема системы управления «умный дом»

Характерной особенностью устройств входящих в определенную группу является тип сигналов используемых для обмена данными: аналоговые, дискретные, цифровые. Это в конечном итоге скажется на типе используемого МК нижнего уровня. Следует отметить, что в последние время с целью универсализации ряд производителей стали выпускать датчики так называемые «мульти» в которых сосредоточены оба вида сигналов передачи данных. Это позволяет в некоторой степени упростить оптимизационную задачу выбора управляемого МК (так при не хватке аналоговых входов на МК можно использовать незадействованные дискретные входы).

Учитывая тот фактор, что в рассматриваемой структуре системы управления к основным функциям микроконтроллера относятся: сбор и обработка информации, ее хранение и выполнение набора различных логических операций, то в качестве такого контроллера целесообразно использовать относительно недорогой микроконтроллер с средними вычислительными возможностями. На основе анализа научно-технической информации предпочтение следует отдать микроконтроллерам торговой марки ARDUINO. В пользу данного типа контроллеров указывает и то, что они обладают открытой архитектурой и имеют возможность коммутировать с платформой андроид. Кроме того следует отметить, компания ГУГЛ которая является разработчиком системы андроид в недавнем прошлом открыла API (интерфейс программирования приложения) для возможности отладки системы Android Arduino и их взаимодействия. При таком подходе задача создания единой программно-аппаратной платформы позволяющей реализовывать автоматизированный сценарий управления домом будет сводиться к проектированию аппаратной части реализуемой на базе контроллера Arduino и реализации программной части на базе операционной си-

стемы Android для смартфонов. Согласно структуре системы управления, приведенной на рис.1 микроконтроллер должен иметь возможности обмена информацией с датчиками и управляемыми «объектами». Из существующих технических решений по организации линий связи (по проводам, через WI-FI, Bluetooth, инфракрасные приёмо-передатчики (ИК) а также по радио-частотному тракту) приемлемыми являются WI-FI, ИК и Bluetooth. Проводная система является не самым лучшим решением, так как создаёт проблему с расположением и переносом приборов в другое место. Радио канал так же не приемлемый выбор в связи повышенной помехонеустойчивостью (наводки, радио шумы).

На основании проведенного анализа научно-технической информации установлено, что каждый производитель оборудования, будь то климатическая система или система безопасности, стараются написать приложение, поддерживающее только их бренд. При этом используются разные протоколы подключения, от которых напрямую зависит совместимость подключения. Единого стандарта подключения на сегодня не существует. Предложенная концепция построения автоматизированной системы управления «клиент – умный дом» позволяет в некоторой степени относительно простыми средствами устранить существующее противоречие.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Приложения для умного дома на iOS / [Электронный ресурс] // mmsmart : [сайт]. — URL: https://mmsmart.ru/oborudovanie/prilozheniya/dlya-iphone/ (дата обращения: 02.04.2024).

2. Блог компании БАРС Груп Как спроектировать умный дом с Алисой: опыт реализации и «нащупанные» подводные камни. Часть 3 / Блог компании БАРС Груп [Электронный ресурс] // habr : [сайт]. — URL: https://habr.com/ru/companies/barsgroup/articles/717578/ (дата обращения: 02.04.2024).

3. Роман Кильдюшкин. «Xiaomi стал крупнейшим поставщиком смартфонов в России» / Роман Кильдюшкин [Электронный ресурс] // gazeta : [сайт]. — URL: https://www.gazeta.ru/tech/news/2023/05/16/20418560. shtml?ysclid=luhpnpgqir757651766 (дата обращения: 02.04.2024).

4. Артём Суровцев. «6 полезных приложений для управления умным домом. Как прокачать HomeKit от Apple» / Артём Суровцев [Электронный ресурс] // iPhones : [сайт]. – URL: https://www.iphones.ru/iNotes/x-prilozheniy-dlya-upravleniya-umnym-domom-kak-prokachat-homekit-ot-apple-05-26-2022 (дата обращения: 02.04.2024).

5. Николаев Дмитрий. «Моё знакомство с виртуальными ассистентами Салют, а также с платформой SmartMarket и SmartApp» / Николаев Дмитрий [Электронный ресурс] // habr : [сайт]. – URL: https://habr.com/ru/articles/541522/ (дата обращения: 02.04.2024.

СЕКЦИЯ

ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС,

АВИАЦИОННАЯ И МОРСКАЯ ТЕХНИКА

УДК 621.165
Абдираимов Бекзад Эркинжанович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Abdiraimov Bekzad Erkinzhanovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Хвостиков Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Khvostikov Alexander Stanislavovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Thermal Power Plants, Komsomolsk-na-Amure State University

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ТЭЦ

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF USING EXPANDER-GENERATING DEVICES IN THERMAL POWER PLANTS

Аннотация. В статье рассматривается использование детандерных генераторов на электростанциях, их влияние на энергоэффективность и экономию топлива. Особое внимание уделено опыту их использования на ТЭЦ-21 ПАО «Мосэнерго», что позволило снизить удельный расход топлива и обеспечить общую эффективность работы установки. Представлены принципы работы детандер-генераторных агрегатов, принципиальные схемы и основные результаты испытаний. Рассмотрены перспективы внедрения указанных агрегатов в России и за рубежом, а также их влияние на снижение выбросов CO_2.
Abstract. The article discusses the use of expander generators in power plants, their impact on energy efficiency and fuel economy. Special attention was paid to the experience of their use at CHPP-21 of PJSC «Mosenergo», which allowed to reduce specific fuel consumption and ensure the overall efficiency of the plant. The principles of operation of expander-generator units, schematic diagrams and main test results are presented. The prospects for the implementation of these AG regattas in Russia and abroad, as well as their impact on reducing CO2 emissions, are considered.
Ключевые слова: детандер-генераторная установка, эффективность, турбодетандер, газораспределительный пункт, природный газ.
Key words: expander-generator set, efficiency, turbo expander, gas distribution point, natural gas.

Одной из текущих тенденций развития в энергетическом секторе является повышение эффективности производства электроэнергии и снижение вредного воздействия на окружающую среду. Многообещающим решением, которое может одновременно повысить экономическую и экологическую эффективность тепловых электростанций (ТЭС), является использование генераторов расширения. Эти устройства позволяют использовать избыточное давление природного газа, подаваемого потребителям, для преобразования потенциальной энергии в электрическую. Актуальность этого исследования обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности тепловых электростанций, снижения удельного расхода топлива и сокращения выбросов парниковых газов. Традиционный метод снижения давления природного газа перед подачей его на горелки котельных установок ТЭС основан на дросселировании, что приводит к значительным потерям энергии. Использование детандер-генераторных агрегатов (ДГА) позволяет минимизировать эти потери за счет выработки дополнительной электроэнергии, которую можно использовать для нужд самой станции или подачи в сеть. Целью данной работы является использование примера ТЭЦ-21 ПАО «Мосэнерго» для анализа эффективности использования ДГА и учета его влияния на работу основного оборудования электростанции. В данной статье рассмотрены принципы работы ДГА, его принципиальные схемы, результаты испытаний и перспективы внедрения технологии в России и за рубежом [1, 2].

Исследования, проведенные в России, Европе и США, показали степень развития темы. Эксплуатация ДГА на различных электростанциях доказала свою надежность и высокую термодинамическую эффективность. В частности, использование ДГА на ТЭЦ-21 может снизить удельный расход топлива и повысить эффективность установки. В послед-

ние годы эта технология внедряется на новых объектах, включая газораспределительные станции и крупные энергетические комплексы, что подчеркивает ее важность для развития энергетической системы [2].

Природный газ обладает высокой теплотой сгорания и экологичностью, превосходя уголь и нефть. Отсутствие шлака и золы в уходящих газах делает его удобным топливом для ТЭЦ без значительных капиталовложений. Принципиальная схема газоснабжения представлена на рисунке 1.

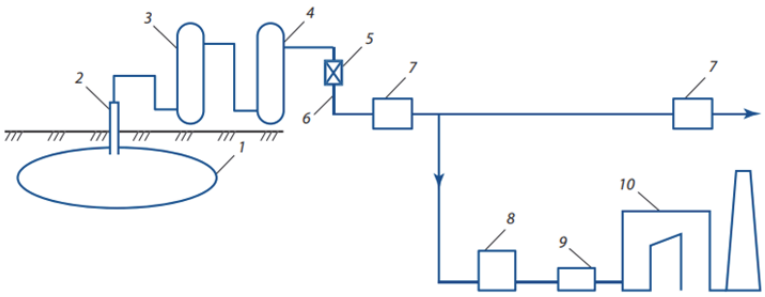


Рисунок 1 - Принципиальная схема системы газоснабжения

Газ из пласта (1) поступает в головку скважины (2) с давлением до 16,0 МПа и температурой +35 °С. После очистки (3) и осушки (4) он через дросселирующее устройство (5) попадает в магистральный трубопровод (6) с рабочим давлением 5,5—11,0 МПа. Потери давления при транспортировке компенсируются компрессорными станциями (7).

На газораспределительных станциях (8) давление газа снижается до 1,0—1,5 МПа, затем на газораспределительных пунктах (9) – до 0,15-0,3 МПа. Обычно это делается путем дросселирования, что приводит к потере энергии при высоком начальном давлении [1].

Эти потери можно свести к минимуму, используя ДГА вместо дроссельных заслонок. Они снижают давление газа до требуемого уровня, одновременно вырабатывая электроэнергию, что делает подачу газа более эффективной и экономичной:

Рассмотрим устройство и принцип действия ДГА. Принципиальная схема включения ДГА на газорегуляторном пункте (ГРП) электростанции показана на рисунке 2. Часть потока газа по газопроводу высокого давления (1) перед дросселирующим устройством (2) отводится и поступает в теплообменник (6), где нагревается до заданной температуры. Затем газ направляется в турбодетандер (10), где, расширяясь, приводит в движение ротор, который передает механическую энергию электрогенератору (9). Полученная электроэнергия поступает потребителю по линии (12).

После детандера газ с пониженным давлением подаётся в газопровод низкого давления (3) и далее используется в основном технологическом процессе ТЭС. Дополнительно в схему может включаться теплообменник (11), регулирующий температуру газа после детандера, а избыточное тепло или холод (линия 13) используется в системе энергоснабжения станции.

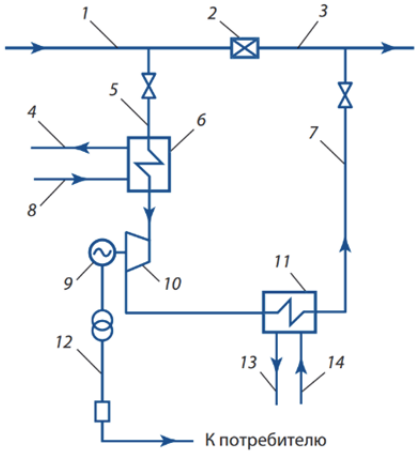


Рисунок 2 — Принципиальная схема включения ДГА
с подогревом газа до и после детандера

Основным преимуществом ДГА перед обычным дросселированием является возможность генерировать электроэнергию при низком давлении газа. Эффективность технологии подтверждается схемами процесса, демонстрирующими преимущества расширителя по сравнению с дросселирующими устройствами.

Детандеры, ранее применявшиеся в криогенной технике, с 1970 года стали использоваться на газораспределительных станциях и газорегуляторных пунктах для снижения давления газа с одновременным получением электроэнергии. Турбокомпрессоры показали высокую эффективность, что подтверждается их эксплуатацией в США и Европе. Установка включала в себя два турбодетандера мощностью по 5 МВт каждый, которые работали параллельно с основной системой газоснабжения котлов. Газ подавался из магистрального газопровода через механические фильтры и теплообменники, а затем направлялся в детандеры для снижения давления и выработки электроэнергии. Испытания подтвердили надежность системы и ее положительное влияние на эффективность работы ТЭЦ. Согласно исследованиям, использование ДГА на ТЭЦ-21 позволило снизить удельный расход топлива на 0,1-0,3% при работе по тепловому графику и на 1,0-1,2% в конденсационном режиме. В 2002 году экономия составила 1,25 г/(кВт*ч). При этом с 1994 по 2002 год объект выработал 257,102 тыс. кВт*ч электроэнергии. В дальнейшем аналогичные установки были внедрены на ТЭЦ-23 ПАО «Мосэнерго», на электростанции (2002 г., 11,5 МВт), а также на Локк-Грейс и Гу-Мелской ТЭЦ-2 в Беларуси. В 2015-2018 годах в Иране были успешно введены в эксплуатацию две установки по производству компримированного природного газа мощностью 8 МВт. В 2020 году «Газпром» принял решение об внедрении установки мощностью 12 МВт в Пермском крае. Использование ДГА снижает выбросы углекислого газа, что особенно важно в современных условиях, когда выбросы должны соответствовать экологическим требованиям. Все доступные публикации подтверждают высокую эффективность ДГА и их надежность. Негативных последствий применения ДГА на ТЭЦ зарегистрировано не было, за исключением противоречивых исследований, в которых были допущены ошибки в термодинамическом анализе.

В ходе исследования была рассмотрена эффективность использования детандерных установок на ТЭЦ. На основе испытаний и анализов, результаты которых изучены в работе, было установлено, что использование таких агрегатов значительно снижает удельный расход топлива, повышает термодинамическую эффективность и уменьшает выбросы парниковых газов в соответствии с современными экологическими требованиями. Результаты работы ДГА на ТЭЦ-21 ПАО «Мосэнерго» и других электростанциях, таких как Центрально-Уральская ГЭС, Локомельская и Гомельская ТЭС, подтверждают высокую надежность и экономическую эффективность этой технологии. Использование ДГА позволяет не только вырабатывать дополнительную электроэнергию, но и снижать потери при дросселировании природного газа, что способствует повышению общей энергоэффективности установки. Основываясь на анализе текущего опыта эксплуатации ДГА, можно сказать, что эта технология имеет большой потенциал для широкомасштабного внедрения на российских и зарубежных объектах, включая газораспределительные станции и газотурбинные установки. Внедрение ДГА на тепловых электростанциях и других энергетических объектах будет способствовать не только повышению эффективности эксплуатации оборудования, но и решению задач по сокращению выбросов углекислого газа, что, в свою очередь, соответствует современным требованиям устойчивого развития энергетических систем.

Таким образом, использование ДГА на тепловых электростанциях является эффективным инструментом повышения энергетической устойчивости и экологической безопасности, что делает эту технологию перспективной для широкого применения в будущем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Экология, энергетика, энергосбережение: бюллетень / под редакцией академика РАН А.В. Клименко. – Москва: ПАО «Мосэнерго» Вып. 4. Об эффективности использования детандер-генераторных агрегатов на ТЭС / [В.С. Агабабов; Опыт работы детандер-генераторных установок в Мосэнерго / А.Н. Вивчар, В.А. Сердюков, Н.В. Попов]. - 2022 - 32 с.

2. Яворовский, Ю. В. Применение детандер-генераторного агрегат на действующей теплоэлектроцентрали в целях повышения энергоэффективности / Ю. В. Яворовский, Т. С. Иванова, А. А. Молчанов // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 12-4. – С. 86-90. – EDN XHQNUZ.

3. Разработка математической модели автономного источника электроснабжения ГРП малой мощности на базе ДГА в среде Aspen HYSYS / С. А. Дронов, А. В. Федюхин, В. Э. Панарин [и др.] // Энергосбережение теория и практика: труды Десятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, Москва, 19–23 октября 2020 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2020. – С. 128-134. – EDN JUPGQC.

4. Матухнов, Т. Применение детандер-генераторного агрегата на районной тепловой станции / Т. Матухнов, А. Жирова, М. Ю. Юркина // Энергосбережение - теория и практика: Труды Девятой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов, Москва, 05–12 октября 2018 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2018. – С. 560-561. – EDN YSPJXV.

УДК 629.542.2

Акайкин Вадим Анатольевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Akaikin Vadim Anatolyevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University,
Бурменский Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Burmensky Andrey Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ ПРОЕКТА «SUPER GREEN»

ARCHITECTURAL AND DESIGN FEATURES OF MULTI-PURPOSE DRY CARGO VESSELS OF THE "SUPER GREEN" PROJECT

Аннотация. Изменения к требованиям по защите окружающей среды на морском транспорте выдвигают новые требования к проектам транспортных судов. В данном докладе приведен анализ архитектурно-конструктивных особенностей и проектных характеристик многоцелевых сухогрузных судов инновационного типа «SUPER GREEN», которые имеют носовую оконечность концепции «пронзающий волну». Дополнительные проектные характеристики были получены в результате реверс-инжиниринга теоретического чертежа судна на основе разработки 3D-модели поверхности корпуса.
Abstract. Changes in environmental protection requirements in maritime transport impose new requirements on the projects of transport vessels. This report provides an analysis of the architectural and design features and design characteristics of multi-purpose dry cargo vessels of the innovative type "SUPER GREEN", which have a bow end of the "wave piercing " concept. Additional design characteristics were obtained as a result of reverse engineering of the lines plan of the vessel based on the development of a 3D model of the hull surface.
Ключевые слова: многоцелевое сухогрузное судно, проектные характеристики, форма носовой оконечности, теоретический чертеж, 3D-модель корпуса, .
Key words: multipurpose dry cargo vessel, design characteristics, shape bow, lines plan, 3D hull model.

Особенностью отечественной судостроительной промышленностью является ее специализация. Кроме развитого военного кораблестроения, судостроительная отрасль поставляет гражданским заказчикам суда достаточно широкого круга назначения: от судов технического флота, грузовых судов типа «река-море», рыболовных судов, судов для обслуживания шельфовой зоны, до танкеров-афрамаксов, танкеров-газавозов и самых мощ-

ных в мире атомных ледоколов. Удивительно, что в этой линейке типов судов отсутствуют «рабочие лошадки», для транспортировки морем сухих грузов. Все сухогрузные суда в составе флотов отечественных морских транспортных компания являются иностранной постройки. Однако, чтобы начать строить такие суда на отечественных верфях, нужна не только протекционистская политика государства в этой области, но и наличие проектов таких судов, в том числе и многоцелевых транспортных судов, в которых ощущается потребность в отечественном флоте. Разработка проектов судов перспективных проектов должна основываться на системном анализе и изучении мирового опыта. В данной работе рассматриваются архитектурно-конструктивные особенности многоцелевых сухогрузных судов проекта «SUPER GREEN», имеющих инновационную форму носовой оконечности.

Концепция формы носовой оконечности “GROOT CROSS-BOW®”

Для улучшения ходкости современные традиционные суда имеют острую форму ватерлинии, а выше нее шпангоуты имеют существенный развал для обеспечения оптимального грузового пространства в носовой части и обеспечения необходимой площади палубы бака, для размещения носовой группы якорно-швартовых устройств (рисунок 1).

Также такие суда имеют бульбообразную подводную носовую оконечность, оптимизированную для определенной осадки и скорости. Однако, в настоящее время мировая практика показывает, что судам, предназначенных для транспортировки генеральных грузов (многоцелевые транспортные суда) и даже контейнеровозами приходится работать при разных осадках и скоростях. Поэтому общая эффективность использования бульбообразную носовую оконечность не такая эффективная, какую ожидают от нее и во многих случаях бульб просто работает наоборот, для чего он изначально был разработан. Так в штормовую погоду и на встречных волнах такие обводы приводят к существенному бортовому и днищевому слемингу (удары волн по корпусным конструкциям), что заставляет капитана судна существенно замедлять ход. Проектная компания «Groot Ship Design» (Нидерланды) разработала набор «волнопронизывающих» обводов корпуса для больших грузовых судов с вертикальным носом и закрытым баком, более известных как «Groot Cross-Bow®» (Groot-Bow). Такие обводы корпуса являлись ответом на запросы судовладельцев и судоходных компаний на улучшение конструкции судна с точки зрения экономии топлива (рисунок 2) [1].



Рисунок 1 – Традиционные носовые обводы транспортных судов



Рисунок 2 – Носовые обводы концепции “GROOT CROSS-BOW®”

Данные обводы характеризуются вертикальным форштевнем и меньшим развалом шпангоутов и их более выраженной V-образностью в носовой части, чтобы обеспечить способность пронизывать волны. Вертикальный нос без бульба обеспечивает небольшое изменение эффективности при разных осадках. Это важно, когда судно рассчитано на различные режимы эксплуатации, так как большинство грузовых судов часто ходят частично загруженными, постоянно меняя осадку. Моделирование показало, что снижение сопротивления достигает 9% при встречных волнах по сравнению с традиционными конструкциями. Кроме того, такая форма обводов благоприятно влияет на ледопроходимость судов. Первыми судами построенными по данной концепции носовых обводов были многоцелевые сухогрузные суда типа «SUPER GREEN».

Архитектурно-конструктивные особенности судов типа «SUPER GREEN»

В 2010 году по заказу судоходной компании «Carisbrooke Shipping Limited» (Великобритания) проектной компанией «Groot Ship Design» был разработан проект многоцелевых сухогрузных судов типа «SUPER GREEN 8500». По данному проекту в период 2010-

2012 годы на судоверфи Jiangsu Yangzijiang Shipbuilding (Китай, г. Джиангун) было построено 4 судна [2].

Транспортные судна типа «SUPER GREEN 8500» (рисунок 1) относятся к классу многоцелевых сухогрузных судов, которые предназначены для перевозки огромной номенклатуры сухих грузов: от генеральных и массовых до контейнеров и крупногабаритных и тяжеловесных грузов. Архитектурный тип судна: стальное, однопалубное, одновинтовое, с баком и ютом, кормовым расположением блока помещений экипажа, ходовой рубки и машинного отделения, с двойным дном и двойными бортами в районе грузовых трюмов, носовой оконечностью типа Groot-Bow и транцевой кормовой оконечностей (рисунок 3).



Рисунок 3 – Многоцелевое сухогрузное судно типа «SUPER GREEN 8500»

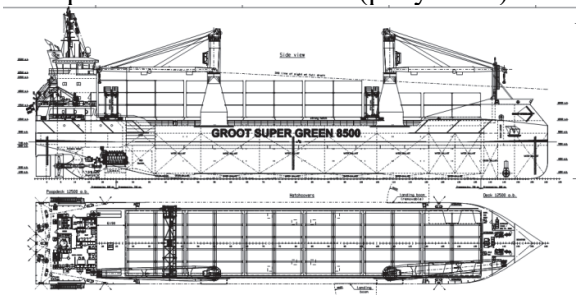


Рисунок 4 – Общее расположение судна

Судно имеет один грузовой трюм, оборудован твиндечными панелями и зерновыми переборками, что позволяет варьировать количество палуб и отсеков. По правому боту установлены судовые полноповоротные краны максимальной грузоподъемностью 80 т при вылете стрелы 15 м (45 т при вылете стрелы 24 м). Для снятия и перемещения люковых крышек и твиндечных понтонов предназначен козловой кран. Основные проектные характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные проектные характеристики [3]

Характеристика	«SUPER GREEN 8500»	«SUPER GREEN 10000»
Длина между перпендикулярами, м	107,7	121,7
Ширина, м	17,4	17,4
Высота борта, м	11,4	11,4
Осадка летняя, м	7,93	8
Дедвейт, т	8500	10250
Контейнеровместимость, TEU	377	494
Мощьность ГЭУ, кВт	2400	2999
Скорость эксплуатационная, уз	12,3	12,7

Вскоре после начала строительства судов типа «SUPER GREEN 8500» судоходная компания «Carisbrooke» заключила новый контракт с верфью «Yangzijiang Shipbuilding» на строительство еще четырех судов по модернизированному проекту «SUPER GREEN 10000». В 2011 году проект был доработан – длина корпуса была увеличена на 14 м, грузовой трюм был разделен на два части, был установлен более мощный главный , а также высота блока помещений экипажа была увеличена на один ярус [2]. Благодаря использованию в обоих проектах носовой оконечности концепции «Groot Cross-Bow®» и эффективной движительной установки (винт в насадке), расход топлива был уменьшен практически до 30% по сравнению с другими судами такого же размера. Это было достигнута без специального оборудования или установок на борту. EEDI (индекс энергоэффективности) для «SUPER GREEN 8500» рассчитан на 9,72, что намного лучше, чем у многих других проектов судов, и намного ниже требуемого на 2025 год индекса 13,3.

Реверс-инжиниринг формы судовой поверхности

Найденная техническая информация по судну, является в основном эксплуатационными характеристиками и зачастую носит противоречивый характер. Для анализа соответствия проектных характеристик рассматриваемого проекта судов заявленным, а также требованиям Российского регистра судоходства к мореходным качествам необходимо было

провести реверс-инжиниринг теоретического чертежа (ТЧ). Основой для разработки теоретического чертежа являлся чертеж общего расположения с планами палуб и миделевым сечением. Реконструкция теоретического чертежа проводилась в соответствии с методикой [4]. Для этого на первом этапе с чертежа общего расположения снимаются различные теоретические линии, которые описывают форму корпуса: диаметральный батокс, сечения шпангоутов, линии палуб и платформ. В данном случае эти линии являются базовыми. При достаточном наличии базовых линий на втором этапе на их основе методом проекционного черчения формируется эскиз теоретического чертежа (рисунок 5).

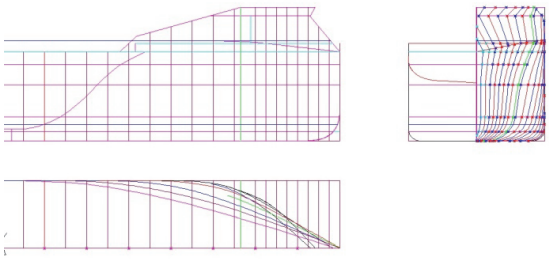


Рисунок 5 – Эскиз теоретического чертежа

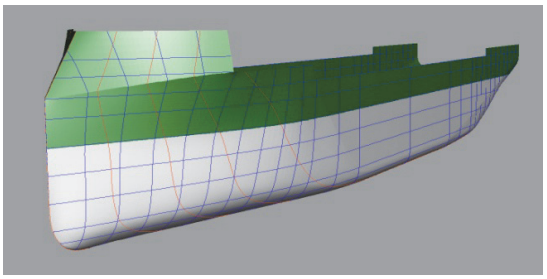


Рисунок 6 – 3D модель судовой поверхности

Далее на основе эскиза ТЧ и базовых линий формируется подложка в виде отдельных изображений проекций ТЧ, которые в дальнейшем экспортируются в специализированную программу по моделированию судовой поверхности FreeSHIP. Данная программа позволяет моделировать судовые поверхности любой сложности. Моделирование производится на основе NURBS-поверхностей путем перемещения узлов управляющей сетки. В результате моделирования была получена поверхность корпуса судна типа «SUPER GREEN 8500» (см. рисунок 6). Разработанная 3D модель судовой поверхности позволяет провести анализ мореходных качеств проекта.

В настоящее время более 30 судов с носовой формой корпуса «Groot Cross-Bow®» бороздят мировые океаны или находятся в процессе постройки, что показывает, что концепция работает не только на компьютере и в качестве модели, но и в реальной жизни. Концепция «Groot Cross-Bow®» была успешно реализована в проектах судов различных типов (многоцелевые сухогрузные суда, балкеры, танкеры, газовозы и др.) и разных размерений (от сухогрузов дедвейтом 4000 тонн до контейнеровозов вместимостью 2500 TEU).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. grootshipdesign.com: Groot Ship Design B.V.: официальный сайт проектной компании. – Раздел сайта «GROOT CROSS-BOW». – . – URL: https://www. grootshipdesign. com/groot-cross-bow/ (дата обращения: 05.04.2025)

2. fleetphoto.ru : Водный транспорт: справочно-информационный портал. – Раздел сайта «Типы и проекты», подраздел «Проект Groot Super Green 8500, тип Vectis Eagle». – . – URL: https://fleetphoto.ru/projects/3463/ (дата обращения: 05.04.2025)

3. carisbrooke.co: Carisbrooke Shipping: официальный сайт судоходной компании. – Раздел сайта «The green ship project». – . – URL: https://carisbrooke.co/the-green-ship-project/ (дата обращения: 05.04.2025)

4. Пак, Т. И. Методология реконструкции теоретических чертежей транспортных судов / Т. И. Пак, Д. Н. Александрова, А. Д. Бурменский // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 3 ч.. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – Ч.1. – С. 429-431.

УДК 629.5.081

Аксёнова Ольга Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Aksenova Olga Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University,

Бурменский Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Burmensky Andrey Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

CURRENT STATE OF THE SHIPBUILDING INDUSTRY IN THE FAR EASTERN REGION

Аннотация. Судостроительная отрасль является основной отраслью промышленности Дальневосточного региона. На современном этапе она способна обеспечить строительство и ремонт судов и кораблей различного назначения и размеров. В статье приведен обзор состояния и производственных мощностей крупнейших судостроительных и судоремонтных предприятий Дальнего Востока России. Рассмотрены возможные пути дальнейшего повышения эффективности предприятий судостроительной отрасли.
Abstract. The shipbuilding industry is the main industry of the Far East region. At the present stage, it is capable of providing construction and repair of ships and vessels of various purposes and sizes. The article provides an overview of the status and production capacities of the largest shipbuilding and ship repair enterprises of the Russian Far East. Possible ways of further increasing the efficiency of shipbuilding enterprises are considered.
Ключевые слова: судостроение, судоремонт, верфь, производственные мощности, суда.
Keywords: shipbuilding, ship repair, shipyard, production facilities, ships.

Дальний Восток занимает четвертую часть территории России и омывается водами двух океанов –Тихого и Северного Ледовитого, а также Дальний Восток пронизывает сеть крупных рек, таких как Амур, Уссури, Амгунь и др. Территория региона богата водными биологическими ресурсами, свыше 70% рыбных запасов добывается на Дальнем Востоке. Нельзя также не учитывать географическое положение Дальнего Востока, а именно наличие общей границы с такими странами как Япония, Китай, КНДР и США, что обуславливает необходимость наличия в территориальных водах Дальнего Востока сторожевых, пограничных кораблей и других объектов морской техники. Таким образом, на судостроение и судоремонт на Дальнем Востоке возлагается выполнение стратегических задач, в том числе в укреплении экономики, в развитии рыбопромыслового флота, в обеспечении оборонной, транспортной, продовольственной безопасности государства [1]. Судостроительная отрасль Дальнего Востока включает в себя предприятия судостроения и судоремонта, а также предприятий по производству основного судового оборудования и электротехники.

Ведущие предприятия судостроения

ССК «Звезда». Судостроительный комплекс «Звезда» является новейшей и крупнейшей верфью не только Дальневосточного региона, но и все России. Располагается она в г. Большой Камень Приморского края. Верфь была заложена в 2009 году и начала функционировать с 2015 года. ССК «Звезда» стал первой верфью в России, способной обеспечить крупнотоннажное строительство судов и морской техники, в том числе для осуществления промысла на континентальном шельфе [2].

В состав верфи входит корпусное производство, оснащённое технологическим оборудованием мирового уровня, в том числе механизированными и автоматизированными линиями резки, сварки и окраски металла. В состав верфи входит самый большой сухой док в России с габаритами 491x114x14 м, а также открытый достроечный стапель длиной 485 м и шириной 230 м, что позволяет осуществлять одновременное строительство нескольких супер больших судов. Для проведения спусковых операций с горизонтального верфь обладает плавучим доком длиной 351,4 м, шириной 95,5 м, грузоподъемностью 100

тысяч тонн. На верфи установлены два мощных крана "Голиаф" грузоподъемностью 1200 тонн (рисунки 1-2).



Рисунок 1 – План судостроительного комплекса «Звезда»



Рисунок 2 – Строительство танкеров афрамаксов на открытом стапеле

Основное производственное направление верфи - гражданское крупнотоннажное судостроение, в том числе и с атомной энергетикой. В настоящее время ведется строительство многофункциональных судов снабжения, нефтяных танкеров и танкеров-газовозов (в том числе высокого арктического класса), супермощных атомных ледоколов. В стадии строительства находится 21 судно.

ПАО «АСЗ». Амурский судостроительный завод расположен в Хабаровском крае в городе Комсомольск-на-Амуре. 1932 году было принято постановление о строительстве судостроительного предприятия вблизи села Пермское. 30 июня 1936 года завод официально вошел в эксплуатацию. Завод был построен по инновационному проекту для того времени. Суть инновации состояла в том, что строительные эллинги находились выше уровня воды как реки Амур, так и грунтовых вод (рисунок 3). Спуск кораблей и судов осуществлялся через наливной бассейн, вначале методом самовсплытия, а потом и с помощью спусковых плавучих доков. Большинство современных отечественных судостроительных и судоремонтных заводов было построено с использованием этих технических решений.



Рисунок 3 – Общий вид на Амурский судостроительный завод

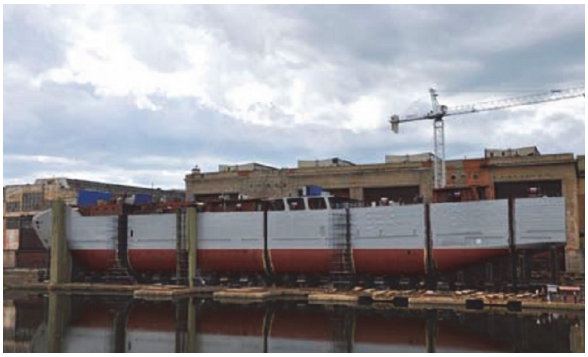


Рисунок 4 – Строительство парома на понуре наливного бассейна

Сейчас завод является форпостом строительства надводных боевых кораблей для Тихоокеанского флота России (ТОФ), одновременно выполняет строительство гражданских заказов (газовозы, паромы, суда снабжения и др.). При этом строительство судов шириной более 19 м ведется на понуре в районе трансбордерной ямы (см. рисунок 4).

В настоящее время на заводе начата модернизация спускового комплекса завода, что позволит расширить размерения кораблей и судов, которые сможет строить завод. Так ширина выводного полушлюза наливного бассейна будет расширена с 23 до 30 м [3].

АО «Восточная верфь». Восточная верфь расположена в Приморском крае в городе Владивосток. Введена в эксплуатацию в 1952году. Верфь была ориентирована на строительство малых боевых и вспомогательных кораблей и судов. Верфь обладает мощностями, позволяющими строить корабли и суда длиной до 120 метров, шириной до 16 метров. Верфь располагает достроечной набережной и плавучим передаточным доком. В настоя-

щее время предприятие практически полностью переориентирована на производство гражданской продукции: рыбопромысловые, транспортные и вспомогательные суда водоизмещением до 4,5 тысяч.

АО «ХСЗ». Хабаровский судостроительный завод введен в строй в 1953 году. Производственные мощности завода позволяют строить суда и корабли любого назначения небольшого водоизмещения (до 1500 т). Строительство судов ведется в закрытом отапливаемом блоке корпусных цехов. Спуск судов в заводской затон осуществляется по рельсовым путям с помощью системы трансбордеров. В настоящее время завод переживает не лучшие времена, отсутствие заказов негативно складывается на экономической деятельности предприятия.

АО «Судостроительный завод имени Октябрьской революции». Судостроительный завод расположен в Амурской области в городе Благовещенск. Является старейшим предприятием Дальнего Востока. Завод располагает тремя эллингами и имеет возможности строить суда различных назначений длиной 75 м и шириной 14 м и более, водоизмещением порожнем до 1500 тонн.

Судоремонтные предприятия Дальневосточного региона

Оператором крупнейших судоремонтных предприятий Дальневосточного региона является АО «Дальневосточный центр судостроения и судоремонта» (ДЦСС), в том числе таких как АО «Центр судоремонта «Дальзавод» (Дальзавод), АО «Северо-восточный ремонтный центр» (СВРЦ), АО «Дальневосточный завод «Звезда» (ДЗ «Звезда»). Основное направление их деятельности - поддержание в боевой готовности кораблей и вспомогательных судов ТОФ [4].

Судостроительные предприятия, входящие в холдинг ДЦСС, оснащены уникальными судоремонтными мощностями. Так Дальзавод кроме ряда плавучих доков имеет в своем составе два сухих дока. ДЗ «Звезда» специализируется на ремонте подводных атомоходов, причем их ремонт осуществляется в двух сухих закрытых эллингах. СВРЦ в составе предприятия имеет четыре плавучих дока, в том числе закрытый док-эллинг проекта 1780 «Шилка». Практически в каждом крупном населенном пункте Дальнего Востока, расположенном на морском побережье есть среднее или небольшое судоремонтное предприятие. Наиболее крупными из них являются ПАО «Славянский СРЗ» (расположен в п. Славянка Хасанского района Приморского края) и ПАО «Находкинский судоремонтный завод» (г. Находка). Практически все предприятия гражданского судоремонта являются частными, что позволяет им быть более мобильными в своей производственной деятельности. Заводы позиционируют себя как диверсифицированные предприятия, кроме судоремонта предприятия выходят на рынок малотоннажного судостроения и изготовления нестандартных видов металлоконструкций.

Таким образом, на Дальнем Востоке судостроительная отрасль сформирована. Она вполне способна обеспечить потребности региона, как в новых кораблях и судах, так и в обеспечении их обслуживания. Однако судостроение региона испытывает серьезные проблемы, связанные с износом производственных мощностей, импортозависимостью отечественного производства основного судового оборудования (проекты строящихся судов содержат большой перечень иностранного оборудования). Помимо этого на судостроительную отрасль ДВФО существенное влияние оказывает дефицит квалифицированных кадров, что существенно влияет на сроки, качество и себестоимость строительства. Также актуальными являются проблемы автоматизации судостроительной отрасли (применения информационных технологий в проектировании, подготовке производства и непосредственно ведения строительства судов, учетной политики, ценообразования). Выходом из сложившейся ситуации будет государственная поддержка, в том числе в финансовой поддержке в модернизации производств, проведении социальной политики сосредоточенной не в привлечении кадров из других регионов, а в сохранении уже имеющихся кадров в регионе. Потому как показывает практика, привлеченные кадры через определенное время покидают регион, что говорит о неэффективности политики, направленной на привлечение кадров. Также предприятиям судостроения необходимо заключать соглашения с профильными учебными заведениями о подготовке, как инженерного состава, так и квалифицированных

рабочих. На этапе обучения максимально мотивировать студентов и закреплять их за предприятиями. Одним из направлений по дополнительной загрузке предприятий заказами является диверсификация их производства и освоение ими выпуска промежуточной продукции (трубопроводы, металлоконструкции, расходные материалы, агрегатное производство), что позволит предприятиям повысить рентабельность, снизить накладные расходы, выйти из финансового кризиса и впоследствии стать конкурентоспособными на судостроительном и судоремонтном рынках Дальнего Востока.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Осипов, В. А. Проблемы развития судостроительно-судоремонтного комплекса Дальнего Востока России : монография / В. А. Осипов, И. С. Астафурова, Л. Н. Жилина. – Владивосток : Изд-во ВГУЭС, 2014. – 204 с.

2. Туровский, Р. Судостроение на Дальнем Востоке: вызовы, санкции и планы модернизации / Бюллетень EastRussia: аналитический обзор судостроения ДФО – зима / Р. Туровский, Е. Шамсутдинова // EastRussia («Восток России») – информационно-аналитический интернет-ресурс – Раздел сайта «Экономика». (дата публикации: 17.01.2025) – . – URL: https://www.eastrussia.ru/material/byulleten-eastrussia-analiticheskiy-obzor-sudostroeniya-dfo-zima-2025/ (дата обращения: 03.04.2025)

3. Березовский, А. В. Основные технические решения реконструкции гидротехнических сооружений для технологического обеспечения вывода кораблей со стапельных мест ПАО «Амурский судостроительный завод» / А. В. Березовский, В. Ю. Дикушин // Судостроение. – 2023. – № 2(867). – С. 72-75. – EDN UKLEES.

4. ДЦСС: Дальневосточный центр судостроения и судоремонта / Официальный сайт АО «Дальневосточный центр судостроения и судоремонта» – раздел сайта «Основные предприятия». – . – URL: https://dcss.ru/predpriyatiya/ (дата обращения: 03.04.2025)

УДК 621.181

Барашнин Алексей Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет.
Barashnin Alexey Mikhailovich, Student, Komsomolsk-on-Amur State University.
Баранов Евгений Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Baranov Evgeny Vitalievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the department “Thermal power plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДОГРЕВА СЕТЕВОЙ ВОДЫ ТЭС

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF VARIOUS TYPES OF HEAT EXCHANGE EQUIPMENT FOR HEATING NETWORK WATER OF THERMAL POWER PLANTS

Аннотация. В статье рассматриваются различные виды теплообменного оборудования, используемого для подогрева сетевой воды на тепловых электростанциях. Анализируются основные характеристики кожухотрубных, пластинчатых и спиральных теплообменников, их преимущества и недостатки. Особое внимание уделено методам интенсификации теплообмена, таким как увеличение площади теплообменных поверхностей, применение турбулизаторов, изменение геометрии каналов, установка шипованных вставок и использование инновационных материалов с высокой теплопроводностью. Дополнительно проведён подробный анализ влияния числа Рейнольдса и формы труб на процесс теплообмена. Рассмотрены перспективные технологии автоматизированного контроля и управления процессами, позволяющие повысить эффективность работы оборудования и снизить энергозатраты, а также продлить срок службы основных агрегатов ТЭС.

Abstract. The article examines various types of heat exchange equipment used for heating network water at thermal power plants. The main characteristics of shell-and-tube, plate, and spiral heat exchangers are analyzed, highlighting their advantages and disadvantages. Special attention is paid to methods of intensification such as increasing the heat exchange surface area, using turbulators, modifying channel geometry, employing finned inserts, and applying innovative high-conductivity materials. A detailed analysis of the impact of the Reynolds number and tube geometries on heat transfer processes is presented. Prospective technologies for automated monitoring and control of heat exchange processes are discussed, allowing for increased equipment efficiency, reduced energy consumption, and prolonged service life of TPP components.
Ключевые слова: тепловая электростанция, теплообменное оборудование, сравнение, интенсификация теплообмена.
Keywords: thermal power plant, heat exchange equipment, comparison, heat exchange intensification.

Подогрев сетевой воды – важнейшая технологическая операция в работе тепловых электростанций. От эффективности данного процесса зависят как энергопотребление, так и надёжность теплоснабжения населённых пунктов, а также экономическая эффективность эксплуатации оборудования. В условиях постоянного роста энергопотребления и ужесточения экологических требований модернизация теплообменных систем становится одной из приоритетных задач. Современные инженерные решения направлены на повышение коэффициента теплопередачи за счёт интенсификации процессов теплообмена, что позволяет снизить расход топлива и выбросы вредных веществ в атмосферу. Современные ТЭС используют кожухотрубные, пластинчатые и спиральные теплообменники, каждая модификация которых имеет свои преимущества, недостатки и особенности эксплуатации. Выбор конкретного типа оборудования зависит не только от параметров теплоносителя, но и от эксплуатационных условий: температуры, давления, возможности технического обслуживания и ремонта.

Рассмотрим основные виды теплообменников используемых на ТЭЦ.

Кожухотрубные аппараты – традиционное решение в энергоустановках. Они характеризуются высокой надёжностью, устойчивостью к перепадам давления и температурным нагрузкам. Конструктивно кожухотрубные теплообменники состоят из набора труб, расположенных внутри кожуха, что обеспечивает хорошую механическую прочность. Однако их сравнительно большие размеры, значительный вес и ограниченный коэффициент теплопередачи требуют применения мер по интенсификации теплообмена. Именно поэтому для таких аппаратов часто используются оребренные элементы, вставки и турбулизаторы, позволяющие повысить эффективность передачи тепла [1]. Пластинчатые теплообменники пользуются популярностью благодаря своей компактности и высокой эффективности теплообмена, обусловленной увеличенной площадью контакта теплоносителей. Благодаря конструкции, в которой теплообмен происходит через тонкие пластины с организованным потоком жидкости, снижаются энергопотери и повышается КПД установки. Однако высокое давление и температура могут негативно сказываться на долговечности пластин, что требует периодического обслуживания и чистки каналов. Спиральные теплообменники представляют собой конструкцию с закрученными каналами, которая способствует формированию вихревых потоков и активному перемешиванию среды. Такой подход позволяет значительно уменьшить толщину пограничного слоя и, как следствие, увеличить коэффициент теплопередачи. Кроме того, спиральные системы имеют меньшую склонность к загрязнениям, что снижает необходимость проведения регулярной механической очистки. Тем не менее, сложность изготовления и точность расчетов могут ограничить применение данной технологии на крупных объектах [1]. Методы интенсификации теплообмена. В современных теплообменных системах интенсификация процесса играет ключевую роль. Основные методы направлены на увеличение эффективной площади теплообмена и оптимизацию характеристик потока теплоносителя. Рассмотрим основные методы. Увеличение числа Рейнольдса. Одним из фундаментальных параметров, определяющих режим обтекания труб или каналов, является число Рейнольдса (Re), определяемое выражением:

$$Re = (\rho \cdot v \cdot d) / \mu,$$

где ρ – плотность рабочей среды; v – скорость теплоносителя; d – характерный диаметр или гидравлический диаметр канала; μ – динамическая вязкость.

Переход от ламинарного к турбулентному режиму (обычно Re > 2300 для труб) приводит к значительному увеличению коэффициента теплоотдачи. При турбулентном обтекании эффективность теплообмена может возрастать в 2–5 раз по сравнению с ламинарным режимом. Повышение числа Рейнольдса достигается как путём увеличения скорости потока, так и за счёт модификации конструкции каналов (например, введения турбулизаторов или шипов).

Применение турбулизаторов и шипов. Одним из эффективных способов интенсификации является использование специальных турбулизаторов – вставок, создающих вихревые потоки, что приводит к разрушению ламинарного пограничного слоя. Среди них широко применяются шипованные вставки, размещённые на внутренней поверхности труб. Такие шипы не только способствуют перемешиванию, но и увеличивают контактную поверхность между теплоносителем и стенкой трубы. Шипы могут иметь различную форму и размер, что позволяет адаптировать их под конкретные условия эксплуатации и оптимизировать тепловой режим в канале.

Кроме того, шипованные вставки часто используются совместно с другими методами, например, с изменением формы труб, что обеспечивает синергетический эффект: увеличение числа завихрений и оптимизация гидравлического сопротивления. Подобные решения уже доказали свою эффективность на опытных установках и в лабораторных экспериментах, где прирост КПД системы достигал весомых значений.

Модификация формы труб. Изменение геометрии труб – ещё один мощный инструмент для повышения эффективности теплообмена [2]. Классические круглые сечения заменяются на овальные, каплеобразные или рифлёные формы, что позволяет увеличить как площадь поверхности теплообмена, так и усилить турбулентность потока. Овальные и рифлёные трубы зачастую характеризуются более низким гидравлическим сопротивлением, что улучшает циркуляцию теплоносителя без значительного увеличения энергозатрат на его подачу. Особое внимание уделяется разработке оребрённых труб, где оребрение может располагаться как внутри, так и снаружи труб. Внутреннее оребрение способствует формированию дополнительного контакта между жидкостью и стенкой, в то время как внешние ребра увеличивают площадь теплообмена с окружающей средой. Практические исследования показывают, что использование оребрённых труб позволяет добиться увеличения теплопередачи на 20–30 % по сравнению с гладкими трубами [2]. Многоходовые каналы и разделители. Для некоторых теплообменных систем эффективным является применение многоходовых каналов, разделённых перегородками. Такие конструкции не только увеличивают протяжённость пути теплоносителя, но и создают условия для повторного перемешивания потоков, что способствует более равномерному распределению температуры. Изменение направления потока, в сочетании с неоднородностями канала, позволяет снизить локальные перегревы и избежать образования горячих точек, что положительно сказывается на общей эффективности теплообмена. Применение инновационных материалов. Еще одним направлением повышения эффективности является использование материалов с высокой теплопроводностью – алюминиевых и медных сплавов, а также современных композитов. Применение таких материалов позволяет не только снизить тепловое сопротивление, но и уменьшить вес конструкции, что особенно важно для крупных теплообменных агрегатов. Помимо этого, инновационные покрытия, обладающие антифрикционными свойствами, помогают предотвратить отложение накипи и других загрязнителей, что существенно уменьшает необходимость в периодическом обслуживании.

Автоматизированное управление и мониторинг. Современные системы автоматизированного управления играют решающую роль в оптимизации работы теплообменников. Использование датчиков температуры, давления и расхода позволяет в реальном времени отслеживать рабочие параметры, оперативно корректировать режимы и предотвращать аварийные ситуации. Автоматизация не только оптимизирует энергопотребление, но и

продлевает срок эксплуатации оборудования за счёт постоянного контроля за его состоянием и динамической подстройки под изменяющиеся условия.

Дополнительный анализ и практические рекомендации. Для получения максимальной эффективности системы интенсификации рекомендуется проводить комплексное моделирование тепловых процессов с использованием численных методов. Компьютерное моделирование позволяет оценить оптимальные параметры конструкции, подобрать оптимальное сочетание шипов, турбулизаторов и изменить геометрию труб для достижения наилучших показателей теплопередачи. Практические испытания, проведённые в опытных установках, показывают, что даже незначительные изменения в конфигурации каналов могут привести к существенному увеличению КПД теплообмена.

Важным аспектом является также выбор рабочего режима системы – оптимизация скорости потока, температуры и давления теплоносителя способствует увеличению числа Рейнольдса, что, как уже отмечалось, способствует переходу к турбулентному режиму и повышению коэффициента теплопередачи [3]. Инженерам рекомендуется проводить периодическую калибровку оборудования и регулярное обновление программного обеспечения систем автоматизированного управления с целью использования новейших алгоритмов оптимизации. Научно-технический потенциал современных исследований в области интенсификации теплообмена открывает широкие перспективы для дальнейшей модернизации ТЭС. Экспериментальные данные, полученные с использованием современной аппаратуры, свидетельствуют о том, что интеграция различных методов – комбинированное применение турбулизаторов, шипованных вставок, изменение геометрии труб и использование современных материалов – позволяет добиться значительного увеличения эффективности теплообмена, снижая расход топлива и сокращая эмиссии вредных веществ. Практическое применение этих инновационных решений требует комплексного подхода, включающего как теоретическое обоснование, так и экспериментальную проверку. В этом контексте интеграция методов численного моделирования с реальными данными, полученными в результате испытаний, представляет собой перспективное направление развития теплообменной техники на ТЭС. Такой подход позволяет не только оптимизировать существующие конструкции, но и разрабатывать новые технологические решения, способные удовлетворить растущие потребности в энергоэффективности и экологии.

Эффективность работы тепловых электростанций напрямую зависит от характеристик используемого теплообменного оборудования. Каждая конструкция – будь то кожухотрубный, пластинчатый или спиральный теплообменник – имеет свои преимущества и ограничения, что требует детального анализа при выборе оптимального решения. Современные методы интенсификации, такие как увеличение числа Рейнольдса, применение шипов и турбулизаторов, модификация формы труб, использование оребрённых конструкций и инновационных материалов, позволяют значительно повысить эффективность передачи тепла. В сочетании с современными системами автоматизированного управления и постоянным мониторингом рабочих параметров, данные меры способствуют снижению энергопотребления, продлению срока службы оборудования и устойчивому развитию систем теплоснабжения. Таким образом, комплексная модернизация теплообменных систем является важнейшим направлением модернизации ТЭС, что ведёт к экономии энергетических ресурсов, снижению эксплуатационных расходов и повышению экологической безопасности. Результаты проведённых исследований демонстрируют, что применение комбинированных методов интенсификации позволяет не только улучшить показатели теплопередачи, но и создать прочную основу для внедрения инновационных инженерных решений в энергетике будущего.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коваленко, Л.М. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи / Л.М. Коваленко, А.Ф. Глушков. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 240 с.

2. Интенсификация теплообмена [Электронный ресурс]: [учеб. пособие / В. Н. Белозерцев, В. В. Бирюк, А. И. Довгялло, С. О. Некрасова, Д. А. Угланов, Д. В. Сармин]; М-во

науки и высш. образования Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т). - Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2018. - on-line. - ISBN 978-5-7883-1325-2.

3. Суслов, В.А. Тепломассообмен [Текст]. Ч.1.: учебное пособие/ В.А. Суслов; М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. – 98 с. – ISBN 978-5-91646-057-5.

УДК 621.165

Берников Денис Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bernikov Denis Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Хвостиков Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Khvostikov Alexander Stanislavovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА В СОСТАВЕ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБОУСТАНОВКИ

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING THE ORGANIC RANKINE CYCLE AS PART OF A HEATING TURBINE PLANT

Аннотация. В статье рассматривается исследование возможностей применения органического цикла Ренкина в составе теплофикационной турбоустановки. Органический цикл Ренкина представляет собой инновационную технологию, применение которой позволяет эффективно преобразовывать низкопотенциальную теплоту в электроэнергию. Исследование направлено на анализ эффективности и целесообразности интеграции представленного выше цикла в существующие теплофикационные системы, что может способствовать повышению общей энергетической эффективности и сокращению выбросов углекислого газа.
Abstract. The article considers a study of the possibilities of using organic Rankine cyclet as part of a thermal turbine unit. The organic Rankine cycle is an innovative technology, the use of which makes it possible to efficiently convert low-potential heat into electricity. The study is aimed at analyzing the efficiency and feasibility of integrating the above cycle into existing heating systems, which can contribute to improving overall energy efficiency and reducing carbon dioxide emissions.

Ключевые слова: органический цикл Ренкина, паротурбинная установка, энергоэффективность, низкопотенциальное тепло, влажный пар.
Key words: organic Rankine cycle, steam turbine plant, energy efficiency, low-potential heat, wet steam.

Современное развитие энергетики требует поиска новых технологий, способных повысить эффективность использования ресурсов и уменьшить экологическое воздействие. Органический цикл Ренкина (ОЦР) представляет собой одну из перспективных технологий, позволяющих использовать низкопотенциальные источники тепла. Это делает его особенно актуальным в условиях растущего спроса на энергию и необходимости снижения углеродного следа. Целью данного исследования является анализ возможностей применения ОЦР в теплофикационных установках, а также оценка его влияния на тепловую эффективность и экономические показатели систем. Данное направление имеет важное значение для повышения энергетической эффективности и устойчивости теплофикационных систем.

Органические рабочие тела, такие как изобутан и толуол, отличаются от воды, используемой в традиционных паровых циклах, своими физико-химическими свойствами. Основное отличие заключается в более низких температурах кипения, что позволяет эффективно использовать низкопотенциальные источники тепла. Эффективность преобразования энергии в ОЦР значительно превосходит традиционные паровые циклы, особенно

при использовании низкопотенциальных источников тепла. Коэффициент преобразования энергии в органических циклах может достигать 20%, что обусловлено оптимальными термодинамическими свойствами органических рабочих тел.

Одним из ключевых преимуществ применения органических рабочих тел в цикле Ренкина является их способность эффективно использовать низкопотенциальные источники тепла, включая отходящее тепло промышленных процессов, геотермальные воды и солнечную энергию. Это значительно повышает общее использование энергии и снижает потери, что особенно актуально в условиях ограниченных энергетических ресурсов. В Республике Казахстан, где функционирует 37 теплоэлектроцентралей, сбрасывается 45-55 % энергии топлива. Это создает возможности для утилизации низкотемпературных тепловых «отходов» [3]. Применение органических рабочих тел может стать эффективным решением для повышения энергетической эффективности в таких условиях. Органический цикл Ренкина представляет собой круговой термодинамический процесс, использующий органическое рабочее тело с низкой температурой кипения. Считается, что «на современном этапе развития турбиностроения в качестве рабочих тел в замкнутом цикле возможно применение, как водяного пара, так и жидкостей, имеющих низкие температуры кипения, реализуя органический цикл Ренкина». Цикл включает стадии испарения, расширения в турбине, конденсации и сжатия, что обеспечивает преобразование тепловой энергии в механическую, а затем в электрическую энергии. Эффективность ОЦР делает его особенно привлекательным для использования в условиях ограниченных энергетических ресурсов [1].

Теплофикационные турбоустановки представляют собой комплексные энергетические системы, предназначенные для преобразования тепловой энергии в электрическую, а также использования тепловой энергии для нужд отопления. В состав таких турбоустановок входят следующие ключевые компоненты: паровые турбины, теплообменники, насосы и системы управления. Паровые турбины выполняют центральную роль, преобразуя энергию пара в механическую работу, используемую для производства электроэнергии. Теплообменники обеспечивают передачу тепла от одного рабочего тела к другому, что является важным этапом в процессе теплофикации. Насосы необходимы для циркуляции теплоносителя, а системы управления координируют работу всех компонентов, что повышает общую надежность и эффективность установки. Теплоэлектроцентраль, помимо генерации электрической энергии, также обеспечивает подачу горячей воды в центральную систему отопления и для бытовых нужд. Теплоэлектроцентраль выполняет важную функцию в обеспечении теплом жилых и общественных зданий. Таким образом, теплофикационные турбоустановки не только производят электроэнергию, но и играют ключевую роль в обеспечении работы систем отопления. Органический цикл Ренкина демонстрирует значительные преимущества в области тепловой эффективности при работе с низкотемпературными источниками тепла. Согласно исследованиям, проведенным в 2020 году, эффективность ОЦР может достигать 20–25%, что делает его конкурентоспособным решением для использования в условиях, где традиционные системы, такие как паровые турбины, не могут быть применены из-за недостаточно высокой температуры источника тепла. В отличие от традиционных турбин, которые требуют высоких температур для достижения КПД в диапазоне 30–40%, ОЦР способен эффективно функционировать при температуре от 80°C до 200°C, что значительно расширяет возможности его использования.

Экономическая целесообразность использования ОЦР определяется не только его тепловой эффективностью, но и эксплуатационными затратами. Начальные инвестиции в ОЦР могут быть на 20–30% выше по сравнению с традиционными системами. Вместе с тем, эксплуатационные расходы на 15% ниже, благодаря меньшему износу оборудования и снижению затрат на обслуживание. Это связано с использованием органических рабочих тел, таких как изобутан или R245fa, которые обладают низкими температурами кипения и требуют менее сложного оборудования для поддержания оптимальных рабочих условий. Кроме того, «технически возможна утилизация до 45 % низкопотенциальной теплоты (около 10 % от количества отпускаемой теплоты)» [2], что дополнительно подтверждает эффективность органических циклов в контексте использования тепловых ресурсов.

Помимо тепловой и экономической эффективности, органический цикл Ренкина обладает рядом экологических и технических преимуществ. Использование рабочих тел с низкими температурами кипения позволяет задействовать широкий спектр низкопотенциальных источников тепла, таких как геотермальные ресурсы и отходящие газы, что способствует снижению выбросов парниковых газов. Однако внедрение ОЦР может сталкиваться с техническими вызовами, связанными с выбором и утилизацией рабочих тел, а также с обеспечением надежности системы при долгосрочной эксплуатации. Эти аспекты требуют тщательного анализа и учета при проектировании и эксплуатации установок. При использовании паровых турбин для генерации электрической энергии наибольшие потери составляют потери с охлаждением в конденсаторе. Для снижения таких потерь применяют совместную генерацию тепловой и электрической энергии. При этом отборы в конденсатор сокращаются и соответственно сокращаются потери. В летнее время, когда не требуются такие отборы на теплофикацию, КПД турбоустановки по производству электрической энергии резко сокращается. Также из-за конструкции турбины расход пара в цилиндре низкого давления не может превышать установленных пределов. При отсутствии отборов на тепловое потребление отработавший пар можно направить на выработку электрической энергии. Работа влажного пара сопровождается дополнительными потерями [2]. Для снижения потерь при использовании влажного пара можно применить в качестве рабочего тела низкокипящие рабочие тела. В работе предлагается оценить возможность использования теплофикационного отбора паровой турбины для выработки электрической энергии в условиях сниженного теплового потребления. Для повышения эффективности паровой турбины предлагается использовать теплофикационный отбор паровой турбины для подогрева рабочего тела ОЦР. Применение органического рабочего тела позволит избавиться от влажного пара, что повысит эффективность работы турбины. При этом в каждой ступени турбины можно организовать работу с наиболее эффективными параметрами. Органический цикл Ренкина обеспечит выработку дополнительной энергии, что является актуальной задачей в летнее время ремонтов оборудования.

Исследование подтвердило, что совмещение органического цикла Ренкина с теплофикационной паротурбинной установкой является эффективным решением для утилизации низкопотенциальных источников тепла, таких как теплофикационные отборы паротурбинных установок. Применение органических рабочих тел позволяет расширить возможности паротурбинной установки в условиях ограниченного теплофикационного отбора. Однако внедрение такого решения требует учета начальных инвестиций и специфических требований к оборудованию.

В ходе проведенного исследования были рассмотрены преимущества органического цикла Ренкина по сравнению с традиционными паровыми циклами. Анализ показал, что использование органических рабочих тел позволяет значительно повысить эффективность преобразования низкопотенциального тепла в механическую энергию, что делает данный подход перспективным для теплофикационных установок. Также был проведен анализ возможности внедрения органического цикла Ренкина в паротурбинную установку. Применение органического цикла Ренкина в составе теплофикационной турбоустановки действительно позволяет преобразовать до 20% переданной тепловой энергии в электроэнергию [4]. Это улучшает общий энергетический баланс системы, минимизируя потери тепла и повышая производительность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тенденции модернизации объектов малой энергетики на базе когенерации / В. А. Маляренко, А. Л. Шубенко, А. В. Сенецкий, И. А. Темнохуд // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4-2. – С. 131-137. – EDN RTDASH.

2. Анализ влияния отдельных составляющих потерь от влажности на экономичность ступени и отсеков паровых турбин / Г. А. Филиппов, В. Г. Грибин, А. Р. Аветисян, А. С. Лисянский // Теплоэнергетика. – 2015. – № 1. – С. 22. – DOI 10.1134/S004036361501004X. – EDN TBDXTJ.

3. Карабарин, Д. И. Использование низкопотенциальных источников энергии на основе органического цикла ренкина / Д. И. Карабарин, С. А. Михайленко // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2018. – Т. 11, № 7. – С. 867-876. – DOI 10.17516/1999-494X-0101. – EDN YPMTCP.

4. Овсянник, А. В. Тригенерационные турбоустановки на основе низкокипящих рабочих тел / А. В. Овсянник, В. П. Ключинский // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2022. – Т. 65, № 3. – С. 263-275. – DOI 10.21122/1029-7448-2022-65-3-263-275. – EDN ATCZFA.

УДК 629.735.3

Боровской Семен Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Borovskoy Semen Alexandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Лозовский Иван Владимирович, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Lozovsky Ivan Vladimirovich, Senior Lecturer, Komsomolsk- na-Amure State University

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ КРЫЛА НА ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОРАЗМЕРНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CHANGING THE GEOMETRY OF THE WING ON THE FLIGHT CHARACTERISTICS OF A SMALL AIRCRAFT

Аннотация. В статье рассматривается расчет летно-технических характеристик (ЛТХ) малоразмерного летательного аппарата (МЛА) с адаптивной геометрией крыла. Представлена математическая модель крыла, на основе которой проводился расчет ЛТХ, на различных режимах полета. Результаты численного моделирования демонстрируют преимущества адаптивного крыла в сравнении с традиционным. Исследование может быть полезно при проектировании малоразмерных летательных аппаратов с адаптивной геометрией крыла.
Abstract. The article considers the calculation of flight performance characteristics of a small aircraft with adaptive wing geometry. A mathematical model of the wing is presented, on the basis of which the performance characteristics were calculated in various flight modes. The results of numerical modeling demonstrate the advantages of an adaptive wing in comparison with a traditional one. The study may be useful in designing small-sized aircraft with adaptive wing geometry.
Ключевые слова: крыло с адаптивной геометрией, математическая модель, летно-технические характеристики
Key words: wing with adaptive geometry, mathematical model, flight performance characteristics

Развитие авиации требует создания новых летательных аппаратов (ЛА), способных эффективно выполнять поставленные задачи, на различных режимах полета. В последнее время популярность набирают малоразмерные летательные аппараты [1]. Особый интерес представляют МЛА с адаптивной геометрией крыла, так как они имеют возможность изменять свою конфигурацию в полете и оптимизировать летно-технические характеристики в зависимости от режима полета, нагрузки и других факторов [2]. Главной целью проведения расчетов летно-технических характеристик малоразмерного летательного аппарата с адаптивной геометрией крыла является оптимизация эксплуатационных параметров ЛА с помощью изменения конфигурации крыла на различных режимах полета.

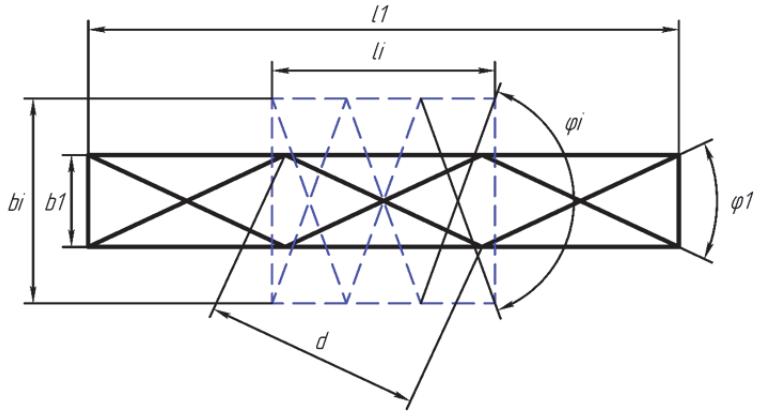
Для выполнения поставленной цели следует рассмотреть ряд задач:

– составить математическую модель крыла с адаптивной геометрией: изменение размаха и хорды крыла;

– провести анализ влияния изменения геометрии крыла на аэродинамическое качество, максимальную дальность и максимальную скорость горизонтального полета.

Для выполнения расчетов ЛТХ МЛА в качестве модели была взята прямоугольная форма крыла, представленная на рисунке 1, а изменение ее конфигурации описывается системой уравнений (1). Конструкция крыла позволяет менять размах и хорду крыла, за счет кинематики диагональных силовых элементов.

Исходные данные для проведения расчетов представлены в таблице 1.



сплошная линия – первая конфигурация; пунктирная линия – измененная конфигурация; синий; φ_1, φ_i– углы между диагоналями одной секции крыла, для соответствующей конфигурации; d – диагональ одной секции крыла; l_1, l_i – размах крыла при соответствующем угле; b_1, b_i – хорда крыла при соответствующем угле

Рисунок 8 – Схема конструкции крыла

Таблица 1 - Исходные данные

Параметр	**Значение**
Стреловидность χ, град	0
Угол атаки нулевой α_0, град	-1
Угол атаки критический $\alpha_{кр}$, град	8
Профильное сопротивление, C_{x0}	0,02
Влетная масса m_0, кг	3
Номинальная мощность двигателя N_0, Вт	2000
Емкость аккумулятора C, Ач	10
Допустимый ток I_{max}, А	700
Количество банок аккумулятора m	3
Длина диагонали d, м	0,5

$$\begin{cases} l_i = z \cdot d \cdot \cos\varphi_i \\ b_i = d \cdot \sin\varphi_i \end{cases}, \quad (1)$$

где l_i – размах крыла, м; b_i – хорда крыла, м; d – длина диагонали, м; z – количество секций, шт; φ_i – угол между диагоналями, град.

Для каждой конфигурации были определены размах крыла и хорда, соответственно, которым и рассчитаны ЛТХ ЛА по методике изложенной в источнике [3]. На первом этапе расчета строиться полярная диаграмма всего ЛА, исходя из исходных данных, далее используется метод мощностей, для определения диапазона летных скоростей. В таблице 2 представлены результаты расчетов. На рисунке 2 показан график зависимости дальности полета от скорости при различных конфигурациях летательного аппарата. График наглядно демонстрирует существование оптимальных режимов эксплуатации для каждой конфигурации.

Таблица 2 – Летно-технические характеристики летательного аппарата

	Конфигурация ЛА		
	1	2	3
Параметр	**Значение**		
Угол между диагоналями φ, град	50	100	140
Размах крыла l, м	1,36	0,96	0,51
Хорда крыла b, м	0,21	0,38	0,47
Площадь крыла S, м^2	0,29	0,37	0,24
Максимальное аэродинамическое качество K_{max}	12,33	7,95	4,06
Диапазон скорости горизонтального полета $Vгп$, м/с	16,63 - 49,90	17,66 - 52,98	34,62 - 103,85
Общий диапазон скорости горизонтального полета $Vгп_{общ}$, м/с	16,63 - 103,85		
Крейсерская скорость полета $Vкр$, м/с	17,12	20,02	35,62
Максимальная скороподъемность Vy_{max}, м/с	27,80	26,91	21,32
Максимальная продолжительность полета T_{max}, ч	1,18	0,70	0,19
Максимальная дальность полета L_{max}, м	72038,89	46553,61	24218,89
Максимальное потребление тока $Inom_{max}$, Ач	89,57	137,63	631,15

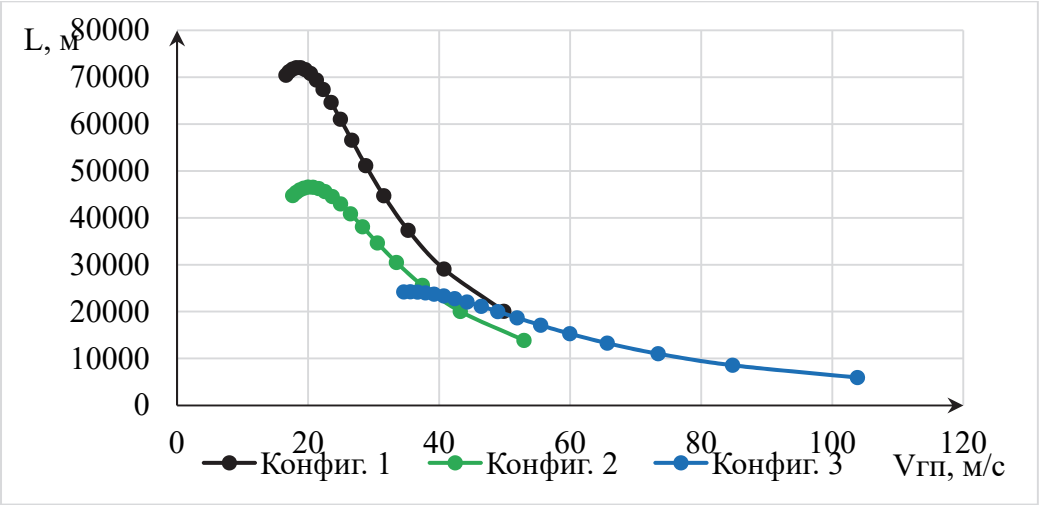


Рисунок 9 – Зависимость дальности полета от скорости при различных конфигурациях

Проведенные расчеты ЛТХ МЛА показали целесообразность использования конструкций крыла с адаптивной геометрией, для оптимизации при различных режимах полета. В результате были получены следующие закономерности:

– при малых углах между диагоналями (конфигурация №1) обеспечивается высокое аэродинамическое качество крыла, которое обеспечивает увеличение дальности полета за счет снижения индуктивного сопротивления и уменьшения энергопотребления;

– при больших углах между диагоналями (конфигурация №3) аэродинамическое качество снижается, увеличивается энергопотребление, что приводит к сокращению дальности, но повышается скорость полета. Следовательно, для полетов, требующих максимального обеспечения дальности, например, мониторинг местности, целесообразнее использовать конфигурацию №1. В полетах, в которых необходимо обеспечить максимальную скорость, следует переводить ЛА в конфигурацию №3. Использования адаптивной геометрии крыла позволяет увеличить диапазон летных скоростей МЛА на 38%. Дальнейшие исследования в области крыльев с адаптивной геометрией, целесообразно выполнять в специализированных пакетах программ для обеспечения наибольшей достоверности расчетов, с учетов всех факторов влияющих на ЛТХ ЛА.

Перспективными направлениями в данной тематике являются:

– разработка алгоритмов автоматизированного переключения положений крыла в полете;

– оптимизирование конструкции и механизмов крыла для обеспечения надежности и снижения массы.

Таким образом, применение адаптивной геометрии крыла позволяет управлять ЛТХ ЛА, что существенно расширяет его эксплуатационные возможности. Результаты работы могут быть использованы для проектирования МЛА различного назначения.

Статья написана в рамках привлечения студентов к проведению работ по гранту Российского научного фонда, соглашение № 24-29-20111 от 12.04.2024 г.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами. Сборник статей и докладов 104 ежегодной научно-практической конференции / Под общей редакцией к.т.н. Бодрова А.С., Безденежных С.И. – Коломна, 2016. – 278 с.

2. Абдулрахим М. и др. Динамика полета трансформируемого летательного аппарата с использованием независимой многошарнирной стреловидности крыла // AIAA Journal. — 2012. — Том 50(3). — С. 732-742

3. Чепурных, И. В. Динамика полета самолетов / И. В. Чепурных. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 90 с.

УДК 164.01; 621.869.888.8

Бренер Виолетта Романовна, студент, Амурский филиал Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского

Last Name, First Name, Patronymic:

Brener Violetta Romanovna, student, Amur branch of the Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy

Терейковский Станислав Валерианович, преподаватель, Амурский филиал Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского

Tereikovsky Stanislav Valerianovich, Lecturer, Amur branch of the Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy

ИННОВАЦИИ В ЛОГИСТИКЕ ЗЕРНА: ФГК ВНЕДРЯЕТ КОНТЕЙНЕРНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ

INNOVATIONS IN GRAIN LOGISTICS: FGK INTRODUCES BULK CARGO CONTAINER TRANSPORT

Аннотация. Статья посвящена внедрению Федеральной грузовой компанией специализированных контейнерных перевозок для сыпучих грузов, включая зерно. Рассматриваются ограничения традиционных способов транспортировки, такие как вагоны-зерновозы, и преимущества новых контейнеров для автомобильного и железнодорожного транспорта. Также освещаются испытания новой технологии и её влияние на эффективность логистики в агропромышленном комплексе.

Abstract. The article analyzes the implementation of specialized container transport for bulk cargo, including grain, by the Federal Freight Company. It discusses the limitations of traditional transport methods, such as grain wagons, and the advantages of new containers for both road and rail transport. The article also highlights the testing of the new technology and its impact on logistics efficiency in the agribusiness sector.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, зерно, федеральная грузовая компания, инновации, логистика, сыпучие грузы, транспортировка.

Key words: container transport, grain, federal freight company, innovations, logistics, bulk cargo, transportation.

Зерно занимает важное место в мировой экономике и играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности [1]. Традиционные способы перевозки зерна, такие как вагоны-зерновозы, имеют определенные ограничения, включая зависимость от инфраструктуры, высокие затраты и риски потерь. В условиях растущего спроса на гибкие и эффективные логистические решения Федеральная грузовая компания (ФГК) разработала инновационную технологию для перевозки сыпучих грузов, основанную на контейнерных перевозках.

О компании ФГК и её роли в разработке

Федеральная грузовая компания занимает лидирующие позиции среди операторов грузового железнодорожного подвижного состава в Российской Федерации, играя ключевую роль в обеспечении эффективного функционирования национальной транспортной системы. Компания активно инвестирует в развитие железнодорожной логистики и внедрение передовых технологических решений, стремясь к оптимизации транспортных процессов и повышению их эффективности. Необходимость разработки инновационных подходов к транспортировке зерна обусловлена рядом факторов, включая периодический дефицит специализированного подвижного состава, ограничивающий пропускную способность железнодорожной сети в периоды максимально допустимого экспорта, а также недостаточную пропускную способность портовой инфраструктуры. Эти факторы приводят к задержкам в поставках, увеличению транспортных расходов и потенциальным потерям урожая.

В ответ на существующие вызовы в сфере транспортировки зерновых культур, ФГК инициировала масштабную программу разработки инновационной технологии, основанной на использовании специализированных контейнеров. Процесс проектирования контейнера был основан на глубоком анализе потребностей ключевых игроков рынка, включая производителей, экспортеров и потребителей зерна, с целью выявления узких мест и проблемных аспектов традиционных методов транспортировки. Команда инженеров и специалистов ФГК применила системный подход, интегрируя в конструкцию контейнера как лучшие практики мировой контейнерной логистики, так и инновационные решения, направленные на минимизацию потерь, повышение безопасности и упрощение логистических операций. В частности, внимание было уделено таким аспектам, как обеспечение герметичности контейнера для защиты от воздействия внешней среды, оптимизация конструкции для упрощения загрузки и выгрузки, а также повышение прочности и износостойкости для обеспечения длительного срока службы. Результатом этой работы стало создание специализированного контейнера, отвечающего современным требованиям эффективной и безопасной транспортировки зерновых культур [2].

Описание новой технологии и контейнера

Разработанный Федеральной грузовой компанией специализированный контейнер для транспортировки зерновых культур представляет собой инновационное решение, призванное оптимизировать логистические процессы и минимизировать потери продукта. Конструкция контейнера включает в себя ряд ключевых особенностей, обеспечивающих высокую степень сохранности и безопасности груза. В частности, для изготовления контейнера используются высокопрочные и износостойкие материалы, обладающие устойчивостью к абразивному воздействию зерна и повышенной влагостойкостью, что гарантирует сохранность продукта даже в условиях неблагоприятной погоды. Внутренняя поверхность контейнера покрыта специализированным материалом, предотвращающим повреждение и загрязнение зерна, обеспечивая тем самым поддержание его качества на протяжении всего маршрута следования [3].

Важной конструктивной особенностью является наличие верхних загрузочных люков, предназначенных для прямой загрузки контейнера на элеваторах и других зерноперерабатывающих предприятиях. Эта технология позволяет исключить использование трудоемких и энергозатратных методов загрузки с применением пневмонасосов, что существенно сокращает время погрузочно-разгрузочных работ и повышает оперативность всей логистической цепочки (рисунок 1).



Рисунок 1 – Специализированный контейнер для транспортировки зерна

Преимущества использования специализированных контейнеров для перевозки зерна выходят далеко за рамки оптимизации погрузочно-разгрузочных операций. Контейнерная технология обеспечивает значительное повышение универсальности перевозок, позволяя использовать различные виды транспорта - железнодорожный, автомобильный и морской - без перевалки груза, что существенно упрощает логистику и сокращает время доставки. В целом, внедрение данной технологии способствует повышению эффективности и устойчивости всего аграрного сектора, обеспечивая своевременную и безопасную поставку зерна на внутренний и международный рынки.

Испытания и результаты

Для всесторонней оценки эффективности и надежности, разработанной Федеральной грузовой компанией технологии контейнерной транспортировки зерна в октябре 2019 года были проведены пилотные испытания на станции Карбышево Омского региона Западно-Сибирской железной дороги. В данных испытаниях приняли участие представители ФГК, Транссибирской Центральной Фирмы Транспортно-экспедиционного обслуживания (ТЦФТО) и коммерческой компании «Омское продовольствие», что обеспечило комплексный подход к оценке технологии с точки зрения оператора железнодорожных перевозок, транспортно-логистической компании и непосредственного участника рынка зерновых культур. Основными целями испытаний являлись: верификация заявленных технических характеристик контейнера в условиях реальной эксплуатации; оценка эффективности системы загрузки и выгрузки; определение степени сохранности качества зерна в процессе транспортировки, включая анализ показателей влажности, загрязненности и механических повреждений; анализ времени, затраченного на погрузочно-разгрузочные работы; и, наконец, оценка экономической эффективности новой технологии путем сравнения с традиционными методами транспортировки. Испытания включали в себя транспортировку зерна в специализированных контейнерах на различных участках железнодорожной сети, с последующим анализом состояния груза после доставки. Для обеспечения объективности оценки, были использованы стандартизированные методы контроля качества зерна и количественного учета потерь. Результаты испытаний подтвердили заявленные ФГК характеристики контейнера. Была продемонстрирована высокая эффективность системы загрузки и выгрузки, существенное сокращение времени, необходимого для погрузочно-разгрузочных операций, и, что особенно важно, практически полное отсутствие потерь зерна и сохранение его высокого качества на протяжении всего маршрута следования.

Перспективы и дальнейшее развитие

Внедрение технологии контейнерных перевозок зерна открывает широкие перспективы для развития аграрного сектора как в России, так и на международном уровне. Рынок контейнерных перевозок демонстрирует устойчивый рост, предлагая сельскохозяйственным производителям и трейдерам значительные преимущества в сфере логистики и ценообразования. Потенциал данного рынка обусловлен растущим глобальным спросом на зерновые культуры, необходимостью повышения эффективности цепочек поставок и стремлением к снижению транспортных издержек.

Стратегия Федеральной грузовой компании направлена на масштабное расширение производства специализированных контейнеров для перевозки зерна, что обеспечит повышение доступности данной технологии для широкого круга участников рынка. Параллельно

с увеличением производственных мощностей, ФГК планирует развивать необходимую логистическую инфраструктуру, включая создание специализированных терминалов для обработки контейнеров и оптимизацию маршрутов доставки. Эти инициативы позволят обеспечить бесперебойность поставок и максимальную эффективность использования контейнерной технологии [4]. Ожидается, что широкое внедрение контейнерных перевозок зерна приведет к значительному снижению транспортных затрат для сельхозпроизводителей и экспортеров. Это, в свою очередь, повысит конкурентоспособность российских производителей зерна на мировом рынке, усилив их позиции в глобальной конкурентной борьбе.

Новая технология перевозки зерна в контейнерах является перспективным направлением развития логистики в агропромышленном комплексе. ФГК, как инновационный лидер, предлагает эффективные решения, способствующие развитию сельского хозяйства, повышению конкурентоспособности российской экономики и обеспечению продовольственной безопасности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Совершенствование экспортно-импортной политики как фактор обеспечения продовольственной безопасности РФ: правовые аспекты / А. Б. Мельников, Е. А. Юткевич, А. В. Березка, А. С. Демтирова // Вестник Академии знаний. – 2024. – № 1(60). – С. 248-253. – EDN GMVABZ. 3

2. Зерно в контейнеры будут загружать сразу на элеваторе // Официальный сайт ООО «СлавТранс» – . – URL: https://www.slavtrans.com/news/logistics/4093/ (дата обращения: 10.03.2025).

3. ФГК внедряет новую технологию перевозки зерна в контейнерах // Официальный сайт ИИС “Металлоснабжение и сбыт” – . – URL: https://www.metalinfo.ru/ru/news/112088 (дата обращения: 10.03.2025).

4. Годовой отчет АО "ФГК" за 2019 год // Официальный сайт АО "ФГК" – Раздел: "Годовые отчеты". – . – URL: https://railfgk.ru/upload/iblock/77c/33izokbwzwm2qlwlmz5pbi57j3si2ti6.pdf (дата обращения: 10.03.2025).

УДК 629.53

Бурский Степан Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bursky Stepan Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University,
Бурменский Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Burmensky Andrey Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ РАЗВИТИЯ ПАРУСНОГО ВООРУЖЕНИЯ СУДОВ

ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF THE DEVELOPMENT OF SAILING ARMAMENT OF SHIPS

Аннотация. В начале XX века казалось, что парус окончательно исчез с палуб транспортных судов. Однако в связи с кризисными явлениями на топливном рынке и ужесточение экологических требований к судам интерес к парусу, как к экологическому движителю на «даровой» энергии ветра возвращается. В статье на основе инструментов ТРИЗ-эволюционного анализа рассматриваются исторические этапы развития парусного вооружения судов.

Abstract. At the beginning of the 20th century, it seemed that the sail had finally disappeared from the decks of transport ships. However, due to the crisis in the fuel market and the tightening of environmental requirements for ships, interest in the sail as an ecological engine on the "free" energy of the wind is returning. The article, based on the tools of TRIZ-evolutionary analysis, examines the historical stages of the development of the sail rigging of ships.

Ключевые слова: техническая система, парусное вооружение, эволюция развития, системный анализ.
Keywords: technical system, sailing equipment, evolution of development, systems analysis.

Кажется, что парусные транспортные суда уже ушли в прошлое и парусное вооружение это удел учебных, научно-исследовательских и спортивных судов. Однако с принятием жестких мер к экологичности судовых двигателей судовладельцам пришлось искать решение в исторических технических решениях развития судовых движителей. Оказалось, что парус – это не только движитель, который использует «даровую» энергию ветра, но он еще обладает экологической чистотой.

Если корабль следует рассматривать как большую, сложную, эргономическую систему, то парусное вооружение корабля является не намного «меньшей» его технической подсистемой. Еще бы, только попробуйте выучить названия всех элементов парусного вооружения корабля, а управлять ими еще сложнее. Не зря все будущие мореходы должны пройти «школу под парусами» и совершить на учебных парусных судах не одно дальнее плавание, в том числе и кругосветное.

Разработка сложных технических систем, в том числе и систем использующих энергию ветра, должна быть основана на принципах системного подхода в различных его аспектах: элементном, структурном, функциональном, коммуникационном, интегративном и в том числе историческом. Одним из эффективных методов системного анализа технических систем является использование инструментов теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) [1].

ТРИЗ-эволюционный подход, как инструмент системного анализа

Согласно ТРИЗ, в развитии технических систем происходит чередование этапов количественного роста и качественных скачков. В процессе количественного роста в результате неравномерного развития характеристик технической системы проявляются противоречия. Противоречие – это проявление несоответствия между разными требованиями, предъявляемыми к системе, и ограничениями, налагаемыми на нее [1].

Для анализа технической системы можно воспользоваться методом анализа решения противоречий в процессе ее развития. Для этого предназначен такой инструмент ТРИЗ, как ТРИЗ-эволюционный подход.

В целом, процесс исследования ТРИЗ-эволюции состоит из нескольких этапов:

- описание исходного объекта и выявление технических противоречий (ТП);
- формулирование идеального конечного результата (ИКР) развития исследуемого объекта;
- определение инструментов ТРИЗ, позволяющих разрешить выявленные противоречия;
- описание объектов, которые были получены в результате разрешения отдельных противоречий.

Данные процесс выполняется циклически для всех наиболее значимых объектов исследуемой области. На последнем этапе проводится построение и анализ ТРИЗ эволюционной карты развития технической системы [2].

Анализ эволюционного развития парусного вооружения

Рассмотрим отдельные основные этапы развития парусного вооружения судов с точки зрения ТРИЗ-эволюционного подхода.

Исходное состояние системы. Как появился парус можно только предполагать и выдвигать гипотезы. По сути дела первым типом транспортного средства на озерах или прибрежных водах был плот. Двигался плот за счет шеста. Представим, что резко началась непогода, поднялся ветер, который подхватил плот с людьми и отнес его от берега на глубину. Пошел дождь, который лил всю ночь. Но утром появилось солнышко, подул бриз в сторону берега. Надо было высушить верхнюю одежду. А в доисторические времена верхней одеждой была шкура дикого животного в виде накидки. Чтобы быстрее высушить накидку, человек раскидывает руки. Накидка начинает развиваться на ветру. Тогда человек фиксирует нижние концы накидки, наступив на них ногами. Шкура надувается в форме

паруса. И человек замечает, что плот движется в сторону берега. Люди с плота спаслись. Одно плохо, надо стоять с раскинутыми в сторону руками под порывами ветра. Долго не устоишь, особенно когда ветер становится все сильнее. И тут человек решает заменить «живую» систему «искусственной» в виде крестовины из двух шестов. Один шест становится прообразом мачты, второй – реи (прообраз рангоута). Чтобы не удерживать руками такую мачту – укрепили ее растяжками, как и нижние углы «паруса» (прообраз стоячего и бегущего такелажа). На протяжении веков шло усовершенствование парусного движителя по мере развития пока еще примитивного производства. Вместо шкуры стали использовать ткацкое полотно. Вместо жил животных и лиан, в качестве такелажа стали использовать плетеные веревки.

От плота к лодке с парусом. Другим древним плавательным средством были гребные лодки различных конструкций. Благодаря веслам, которые применялись в качестве движителей на лодках и обтекаемой форме их корпуса, человек мог перемещаться по водоемам любой глубины и даже двигаться против течения на реках. Но двигателем в этом случае выступала мускульная сила человека, а бесконечно долго грести он не мог. Конечно, в воздухе уже витала идея оснастить лодку парусом, хотя бы в качестве вспомогательного движителя. ИКР1: Лодка, которая способная самостоятельно перемешаться в направлении попутного ветра.

ТП1: Невозможно раскрепить мачту-однодревк в поперечном направлении в лодках, которые не имеют конструкционного силового набора.

Для решения данного противоречия воспользуемся *принципом дробления*, в частности мачту стали делать из двух шестов в виде буквы Λ (рисунок 1) [3].

Мачты однодревки появились на судах только после того, как суда стали наборными, то есть у них появился силовой каркас (киль, шпангоуты, бимсы) который обшивался досками (обшивка). На этих судах появилась возможность закрепить нижнюю часть мачты в двух опорных точках.

Один, но огромный. Ориентация паруса на древних судах первоначально была вертикальной. Это было связано с ограничением длины древка реи. По мере роста размер кораблей площади парусности не хватало для достижения нужной скорости.

ИКР2: Большая площадь полотнища паруса для увеличения скорости движения большого судна.

ТП2: Невозможно увеличить площадь паруса при ограничении длины реи.

Для решения данного противоречия воспользуемся *принципом объединения*, в частности две короткие реи объединялись в одну путем накладывания своих крайних частей друг на друга и скрепления их тросовыми вулингами. (рисунок 2) [3].



Рисунок 1 – Λ-образная мачта на древнеегипетском судне

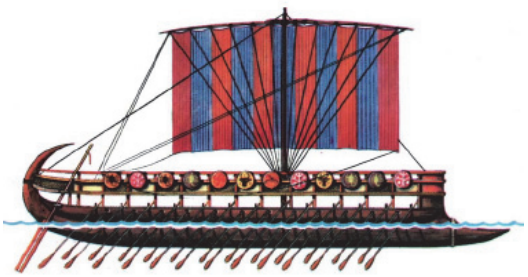


Рисунок 2 – Финикийский военный корабль с составными реями

По мере развития морской торговли размеры судов еще больше росли в своих размерах и высоты мачты, изготавливаемой из одного ствола дерева, стало недостаточным для обеспечения увеличения площади парусов и прочности самой мачты.

ИКР3: Мачта должна быть высокой и одного сечения по всей высоте.

ТП3: Из-за роста высоты борта корпуса судов большая часть мачты находится ниже палубы, а размеры деревьев «мачтового леса» ограничены, толщина ствола существенно меняется от комеля до верхушки. Для решения данного противоречия воспользуемся *принципом местного качества*. Мачты стали делать составными (наборными) из нескольких

брусьев, сблоченных друг с другом и стянутых бандажами (вулингами), а позднее бугелями (железными обручами) (рисунок 3). Аналогично конструкции мачт, в дальнейшем стали изготавливать и составные реи [3].

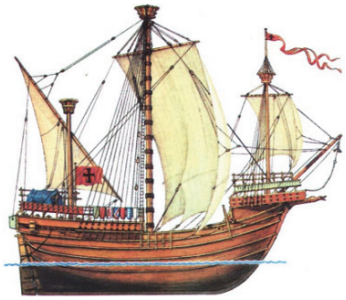


Рисунок 3 – Каракка с наборной мачтой

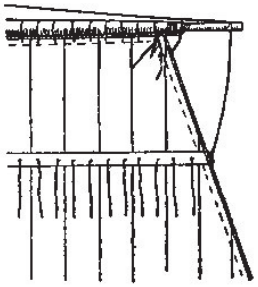


Рисунок 4 – Рифы на парусе

С одной стороны большая площадь паруса обеспечивает большую скорость, а с другой – при сильном ветре приходится «убирать» парус, чтобы не сломать такелаж.

ИКР4: При усилении ветра площадь парусности снижается.

ТП4: У «традиционного» паруса невозможно уменьшить его площадь..

Для решения данного противоречия воспользуемся *принципом «посредника»*. Уменьшение площади паруса у парусника осуществлялись при помощи особых приспособлений – рифов (см. рисунок 4), которые позволяли экипажу частично подвязывать парус к реи, уменьшая этим его площадь в «свежую» погоду [3].

Парусов много и разных. Другим способом регулирования площадью парусности как при ухудшении погода, так и при ведении боевых действий является дробление «единого» паруса на много отдельных парусов. Для их размещения на мачте необходимо было еще больше увеличить ее высоту. При этом верхняя часть мачты должна иметь меньший диаметр, соразмерно площади отдельного паруса.

ИКР5: Мачта должна уменьшаться в диаметре к верху.

ТП5: Наборная мачта имеет практически постоянный диаметр по высоте.

Для решения данного противоречия воспользуемся *принципом «дробления»*. Мачты стали выполнять разборными, т.е. состоящими из нескольких раздельных частей разной толщины – стеньг (рисунок 5). Стеньги с мачтой или между собой соединялись с помощью салингов или эзельгофтов [3].



Рисунок 5 – Шлюп с тремя стеньгами



Рисунок 6 – Клипер под лиселями

Возникали ситуации, когда парусным судам нужно было временно развивать «сверхбольшую» скорость.

ИКР6: Возможность временного увеличения парусности.

ТП6: Для увеличения парусности необходимо увеличить количество и размеры рангоута, что приведет к увеличению размеров судна

Для решения данного противоречия воспользуемся *принципом «вынесения»*. Основные реи стали оборудоваться выдвижными маленькими реями (лисель-спирты), на которых ставили добавочные паруса – лиселя (см. рисунок 6).

Анализируя развитие технической системы с помощью инструментов ТРИЗ-эволюционного подхода можно не только проследить эволюцию ее развития, но и понять исторические причины возникновения технических противоречий, то есть ответить на вопрос, что являлось толком развития технической системы. Этот подход позволяет исследова-

телю проследить и оценить также современный уровень и перспективы развития технической системы. А в настоящее время мы наблюдаем второе рождение паруса [4].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Долотов, Б. И. Основы ТРИЗ: Учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1 / Б. И. Долотов, В. Д. Бердоносов, А. Р. Куделько. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2011. – 173 с.

2. Бердоносов, В. Д. Применение ТРИЗ-эволюционного подхода к исследованию объектно-ориентированных языков программирования : моногр. / В. Д. Бердоносов, А. А. Животова. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 166 с.

3. Каторин, Ю.Ф. Все о кораблях. От гребного флота древнего мира до наших дней / Ю. Ф. Каторин, Н. Л. Волковский. – М.: Астель; СПб.: Полигон, 2010. – 672 с.

4. Татаренков, В. И. От плота до атомохода / История мирового судоходства и судовых средств движения / В. И. Татаренков. – М.: «МОРКНИГА», 2011. – 312 с.

УДК 656.7.08

Волков Родион Владимирович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Volkov Rodion Vladimirovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Кривенко Марина Юрьевна, старший преподаватель кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Krivenko Marina Yuryevna, Senior Lecturer, Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

СТАТИСТИКА АВИАКАТАСТРОФ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 30 ЛЕТ

STATISTICS OF CIVIL AVIATION CRASHES OVER THE LAST 30 YEARS

Аннотация. В статье проведен сравнительный анализ статистики катастроф в гражданской авиации за периоды 1995-2014 г. и 2015-2024 г. Представлены данные по количеству авиакатастроф и количеству погибших в них, сформулированы основные причины авиационного происшествия. Выявлена тенденция к снижению числа авиакатастроф и повышению уровня надежности авиационного транспорта.
Annotation. The article provides a comparative analysis of the statistics of accidents in civil aviation for the periods 1995-2014 and 2015-2024. Data on the number of plane crashes and the number of fatalities are presented, and the main causes of the accident are formulated. The trend towards a decrease in the number of plane crashes and an increase in the level of reliability of aviation transport has been revealed.

Ключевые слова: авиационное происшествие, статистика, авиакатастрофа, авиационный инцидент, анализ.
Keywords: aviation accident, statistics, air crash, aviation incident, analysis.

Авиационная промышленность имеет постоянное развитие своей отрасли, переход на более современное оборудование, обеспечивающее более точное изготовление деталей и сборку агрегатов и планера в целом, обеспечение контроля на этапах изготовления и сертификационные испытания улучшают надежность воздушного судна, о чем свидетельствует мировая статистика авиакатастроф 20 века.

Авиационным происшествием называют событие, в котором при использовании воздушного судна (ВС) с момента посадки человека или группы людей на борт ВС и на протяжении всего полета до момента, когда люди покинут ВС, в ходе которого:

а) один или несколько человек получают телесные повреждения, приведшие к смертельному исходу в результате нахождения в данном ВС на протяжении полёта, за исключением случая смерти по физиологическим причинам или причинам, не связанным с использованием ВС;

б) разрушение конструкции ВС;

в) механические повреждения ВС;

в) ВС пропадает без вести, или оказывается в месте, где доступ к нему не возможен [1].

Авиационные происшествия подразделяются на:

– авиакатастрофы (авиационные происшествия, в ходе которых один или несколько человек погибли);

– аварии (авиационные происшествия, при которых ни один человек не погиб).

На рисунке 1 представлена статистика авиакатастроф гражданской авиации за период 1995-2024 г. [3].

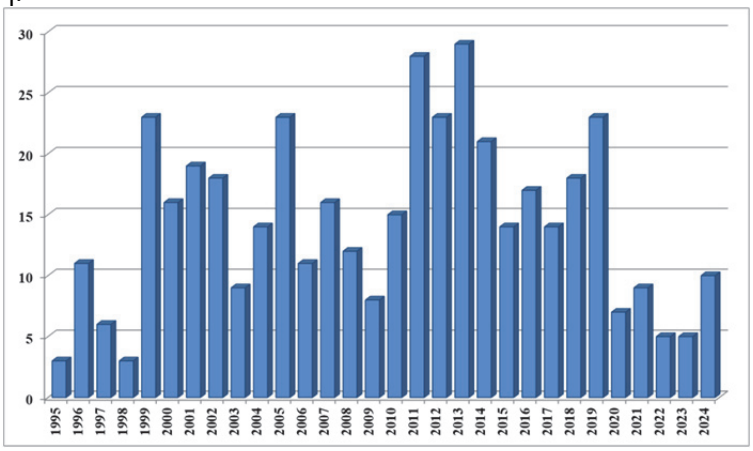


Рисунок 1 – Статистика авиакатастроф гражданской авиации за период 1995-2024 г.

Основные причины, приводящие к авиакатастрофам, можно разделить следующим образом:

– человеческий фактор (ошибочные действия экипажа или диспетчерской службы, плохое самочувствие или усталость членов экипажа) - до 60%;

– неисправность приборов и оборудования, систем самолета (например системы электроснабжения, гидравлической системы и т.д.) - до 30%;

– погодные условия, такие как: туман, ливень, гроза, метель и т.д. в результате чего может произойти обледенение ВС и потеря видимости - до 20%;

– прочие причины, включая теракт и саботаж - до 10% [2].

По режимам полета авиакатастрофы занимают следующие процентные соотношения:

1) на режиме посадки – 36%;
2) на режиме взлёта – 30%;
3) на режиме крейсерского полёта – 18%;
4) на режиме захода на посадку – 16%.

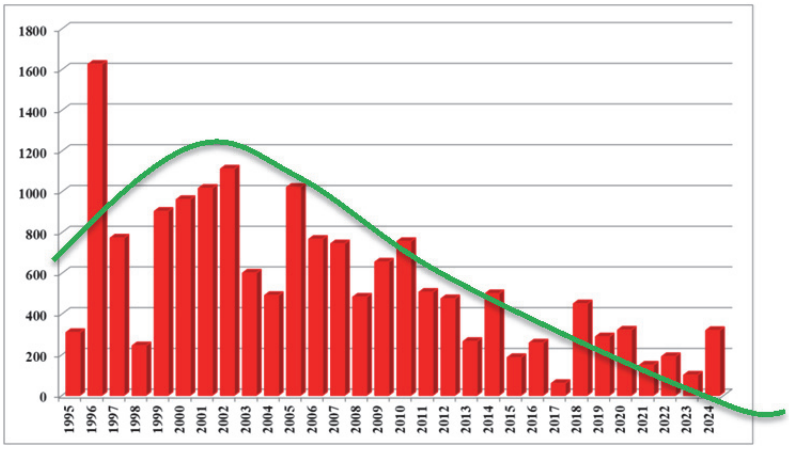


Рисунок 2 – Статистика числа погибших в авиакатастрофах гражданской авиации за период 1995-2024 г.

На рисунке 2 представлена статистика числа погибших в авиакатастрофах гражданской авиации за период 1995-2024 г. [3]. В период с 1995 по 2014 годы произошло 308

авиакатастроф, в которых общее число погибших составило 14974 человек. При этом наибольшее количество авиакатастроф, равное 36, потерпели самолёты авиакомпании Boeing, что является наибольшим в сравнении с другими авиакомпаниями. В период с 2015 по 2025 годы произошло 122 крупных авиакатастрофы, в которых общее число погибших составило 2432 человек, что значительно меньше, чем в период 1995-2014 года. При этом 8 авиакатастроф потерпели самолёты авиакомпании Boeing, что является наибольшим в сравнении с другими авиакомпаниями.

Среди ведущих авиакомпаний производителей наибольший уровень аварийности в последние годы наблюдается у самолётов производства Boeing;

В период с 2015 по 2024 год значительно снизилась частота крупных авиакатастроф по сравнению с периодом с 1995 по 2014 год, что свидетельствует об увеличении общего уровня надежности самолетного транспорта за последние 10 лет.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Правительства РФ от 18.06.1998 N 609 (ред. от 16.05.2024) "Об утверждении Правил расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации"

2. Дьячков, Д. В. Анализ статистики авиакатастроф на основе исследования множества факторов / Д. В. Дьячков, О. В. Золотарев // Физико-техническая информатика (СРТ2020) : Материалы 8-ой Международной конференции, Пущино, Московская обл., 09–13 ноября 2020 года. Том Часть 2. – Нижний Новгород: Автономная некоммерческая организация в области информационных технологий "Научно-исследовательский центр физико-технической информатики", 2020. – С. 289-320.

3. Сто великих авиакатастроф / авт.-сост. Муромов И. А.. – Москва : Вече, 2007. – 478 с.

УДК 629.5:004.896

Гой Ольга Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Goy Olga Aleksandrovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Айрих Илья Иванович, заместитель главного инженера, ПАО «Амурский судостроительный завод»
Airikh Ilya Ivanovich, deputy chief engineer, PJSC “Amur Shipyard”
Порядочная Ксения Владимировна, инженер-технолог, ПАО «Амурский судостроительный завод»
Poryadochnaya Ksenia Vladimirovna, process engineer, PJSC “Amur Shipyard”
Журбина Ирина Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Zhurbina Irina Nikolaevna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

ВНЕДРЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПРОФИЛЬНОГО ПРОКАТА

INTRODUCTION OF ROBOTIZED EQUIPMENT INTO THE PROCESS OF MANUFACTURING PARTS FROM ROLLED SECTIONS

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования роботизированного оборудования в судостроении в части изготовления профилей. Выявлены преимущества внедрения роботизированного оборудования. Также представлены риски, с которыми может столкнуться промышленное предприятие. Проанализировано, что роботизация технологического процесса привела к повышению эффективности изготовления профильного проката, точности, улучшению его качества.

Abstract. The article considers the possibility of using robotic equipment in shipbuilding in terms of profile manufacturing. The benefits of implementing robotic equipment are identified. Risks that an industrial enterprise may face are also presented. It is analyzed that the robotization of the technological process has led to an increase in the efficiency of manufacturing of profiled rolled products, accuracy, and improvement of their quality.
Ключевые слова: судостроение, автоматизация, роботизированное оборудование, технологический процесс, профильный прокат, точность изготовления.
Key words: shipbuilding, automatization, robotic equipment, technological process, profiled steel, manufacturing precision.

Современные тенденций и подходы к организации производственных систем требуют от предприятий высокой производительности, точности и качества. В связи с этим внедрение роботизированного оборудования становится крайне актуальным, особенно для крупных промышленных предприятий судостроения. Роботизация процессов позволяет значительно сократить время изготовления деталей, увеличить количество и качество продукции, повысить безопасность труда, сократить потребность в производственном персонале.

Типовой технологический процесс изготовления детали из профильного проката состоит из следующих операций: ручной разметки, тепловой резки, зачистки. Операции выполняются рабочими таких специальностей, как маркировщик, газорезчик и рубщик, с применением ручного механизированного инструмента. Вследствие чего, сроки изготовления и качество деталей напрямую зависят от количества разметчиков судовых, газорезчиков и рубщиков, их уровня квалификации.

В последние годы были сделаны шаги по автоматизации процессов, позволяющие сократить время производственных циклов и повысить качество изготавливаемых судов [1]. Одним из таких процессов является внедрение роботизированного оборудования. Это линия профильной резки, которая представляет собой стационарный, управляемый компьютером высокоточный станок для профилирования плазменным способом. Станок разработан для совмещения набора функций погрузки-разгрузки, резки и выдачи готовой детали из профиля.

Рассмотрим опыт использование роботизированной линии плазменной резки (Profile Cutting Line) PCL600 профиля в процессе обработки профильного проката (рисунок 1).



Рисунок 1 – Высокопроизводительная линия резки профильного проката

Автоматизированная линия резки профиля способна [2, 3]:

- выполнять резку и маркировку плазмой профильного проката различных форм (уголок, полособульб, трубы и т.д.);
- полностью автоматическая подача заготовки и извлечение готовых профильных изделий;
- система может выполнять любой тип резки, соответствующей геометрии резака, включая разделение профиля, прорезание пазов, отрезку, отверстие, снятие фасок и т.д.;
- система может работать в автоматическом программном режиме или в режиме ручного управления с индивидуальным выбором программы.

Ключевыми преимуществами внедрения роботизированного оборудования, позволившими сократить технологическое время протекания процесса в 2-2,5 раза, стали:

1. Увеличение производительности: оборудование работает без простоя, что позволяет значительно ускорить процесс изготовления деталей;

2. Повышение качества: высокая точность автоматизированного выполнения операций снижает вероятность ошибок и брака;

3. Снижение затрат на труд: исключены из технологического процесса изготовления деталей ряд операций, это позволяет сократить численность производственного персонала.

Однако необходимо отметить наличие рисков при эксплуатации роботизированного оборудования, которые могут привезти к временным простоям и финансовым затратам:

1. Импортное программное обеспечение, как следствие, сложности (сбои) при переходе на новое оборудование, настройки его конфигурации;

2. В состав оборудования входят импортные комплектующие, как следствие при поломке или сбое в работе роботизированного оборудования требуется поиск;

3. Сложность социальной и кадровой адаптации, требуется обучение производственного и инженерного персонала. Влияние данного риска незначительно.

Процесс внедрения оборудования содержал следующие основные этапы: выбор и подготовка места под оборудование, монтажные работы, обучение сотрудников, пробные работы, хронометражные наблюдения, внедрение в технологический процесс.

После введения в эксплуатацию роботизированной линии резки профиля скорость и качество выпускаемых деталей увеличились в 2-2,5 раза, готовые детали из профильного проката не требуют дополнительной доработки и направляются на сборку после изготовления. Внедрение современного роботизированного оборудования эффективно увеличивает масштабы производства и экономит ресурсы судостроительной компании, представляя собой важный шаг в направлении повышения производительности и качества. Содержит предпосылки для улучшения процессов сборки корпусных конструкций, в части нанесения (маркировки) на изготовленных профильных деталях информации по сборке узлов. Положительный опыт внедрения роботизированного оборудования является мощной базой для дальнейшего развития в области автоматизации технологических процессов в судостроении.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фомичев, А. Б. Основные задачи совершенствования технологии изготовления деталей судового набора из профильного проката / А. Б. Фомичев, Е. В. Игошин // Судостроение. – 2009. – № 4(785). – С. 66-71. – EDN KXQPFP.

2. Korabel.ru : сетевое издание. – Раздел сайта «Оборудование», подраздел «Технологическое оборудование». – . – URL: https://www.korabel.ru/equipment/item _view/130000 (дата обращения: 02.04.2025).

3. Plasmainfo.ru : сайт. – Раздел сайта «Оборудование», подраздел «Станки для резки балки». – . – URL: https://plasmainfo.ru/shop/stanki-rezki-balki/pcl-300/ (дата обращения: 02.04.2025).

УДК 629.488.27

Загородний Алексей Евгеньевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zagorodniy Aleksey Evgenevich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Марьин Сергей Борисович, доктор технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Maryin Sergey Borisovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ОТЪЕМНОЙ ЧАСТИ КРЫЛА САМОЛЕТА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

THE TECHNOLOGY OF ASSEMBLING THE DETACHABLE PART OF THE AIRCRAFT WING USING COMPOSITE MATERIALS

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности технологии сборки отъемной части крыла с малой толщиной профиля и кессонной (моноблочной) силовой схемой, соединение с центропланом осуществляется с помощью стыковых узлов типа «ухо-вилка». Рассмотрены основные этапы сборки, приведены базовые принципы обеспечения аэродинамических обводов с заданной точностью в соответствии с особыми техническими требованиями летательного аппарата, конструкция которого состоит из силового набора из алюминиевого и титанового сплавов, а обшивка - композиционная.
Abstract. This article discusses the features of the technology of assembling the detachable part of the wing with a small profile thickness and a coffered (monoblock) power circuit, the connection to the center section is carried out using "ear-fork" butt joints. The main stages of assembly are considered, the basic principles of ensuring aerodynamic contours with a given accuracy are given in accordance with the special technical requirements of an aircraft, the design of which consists of a power set of aluminum and titanium alloys, and the skin is composite.
Ключевые слова: аэродинамические обводы, сборка, отъемная часть крыла, композиционные материалы.
Key words: aerodynamic contours, assembly, detachable part of the wing, composite materials.

Одним из ответственных этапов сборки планера летательного аппарата (ЛА) является сборка отъемной части крыла (ОЧК). От качества сборки ОЧК зависит точность обеспечения аэродинамических обводов, что влияет на летно-технические характеристики ЛА. Ввиду особенности работы конструкции ОЧК с применением композиционных материалов (КМ), вводится ряд дополнительных требований к технологии сборки, так как КМ подвержены разрушению при ударной нагрузке и относительно малой деформации.

В конструкции планера ЛА в настоящее время используются панели из КМ, которые входят в состав элементов образующую внешнюю поверхность самолета. В качестве элементов силового набора конструкции ЛА, детали из КМ находят пока ограниченное применение, в тоже время есть особенности сборки таких конструкций, поэтому актуальность данной темы с каждым годом увеличивается.

Силовая схема рассматриваемой ОЧК является кессонного типа и состоит из продольного силового набора в виде лонжеронов из алюминиевого и титанового сплавов, стенок из алюминиевого сплава, поперечного набора в виде нервюр из алюминиевого сплава, верхней и нижней панели из КМ. Целью данной статьи является анализ процесса сборки, выявление особенностей и возникающих при сборке проблем.

При сборке ОЧК как ответственного агрегата, влияющего на аэродинамические характеристики планера ЛА, применяется стапельная сборка. Базирование осуществляется по поверхности композиционной обшивки. При установке каркаса в стапель его базируют при помощи фиксаторов по узлам навески агрегатов в виде поворотного носка (секции предкрылков), флаперона и элерона (закрылков и т.д.), концевая нервюра устанавливается на упор стапеля, а силовой набор в виде лонжеронов устанавливается в зацепление типа «ухо-вилка» в стапеле. Так же устанавливаются шкворневые узлы, соединяющие основные силовые элементы кессона ОЧК (если такие узлы имеются) при помощи фиксаторов стапеля. Таким образом, при независимом методе увязки обеспечивается заданная точность сборки силовых элементов каркаса в пределах ± 0,3 мм [1, 3].

Особенностью конструкции кессонного типа с применением обшивок из КМ является невозможность использования массово прессовой клепки, ударная клепка полностью запрещена в виду разрушения КМ. Поэтому в рассматриваемой конструкции при установке композитных панелей на каркас применяются болтовые соединения с потайной головкой 90^0 и 120^0 с полем допуска f9 из титанового сплава.

Ввиду отсутствия лючков – лазов и малой толщине профиля ОЧК подход обеспечен при монтаже нижней панели, поэтому в конструкции крепления нижней панели для уменьшения массы применяются самоконтрящиеся гайки, а при установке верхней панели применимы анкерные гайки прямые, угловые и односторонние, что в свою очередь не требует подхода, но увеличивает массу собираемой конструкции.

Весь процесс сборки ОЧК разделен на 5 этапов:

1) Узловая сборка носовой части крыла (НЧК), сборка навесных агрегатов: поворотный носок, элерона, флаперона;

2) Сборка кессона ОЧК в стапеле;

3) Предварительная разделка отверстий в проушинах шпангоутов по стыку ОЧК с центропланом в стенде разделки;

4) Испытание ОЧК на герметичность;

5) Сборка ОЧК вне стапеля, включающая в себя прокладку коммуникаций в носовой и хвостовой частях ОЧК, навеску агрегатов - поворотный носок, элерона, флаперона.

Самым трудоемким и ответственным этапом сборки ОЧК является сборка в стапеле, укрупненно процесс сборки ОЧК в стапеле показан на рисунке 1. После сборки ОЧК в стапеле консоль устанавливают в стенд разделки предварительных отверстий (окончательная разделка осуществляется при разделке отверстий непосредственно при стыковке с центропланом ЛА) [2], проводятся испытания на герметичность, выполняется часть внестапельных работ (например, гермотиснение крышек люков, предварительная установка профилей по стыку ОЧК с центропланом, подгонка обтекателей приводов элерона, флаперона и т.д.) и консоль отправляется на испытание топливной системы.

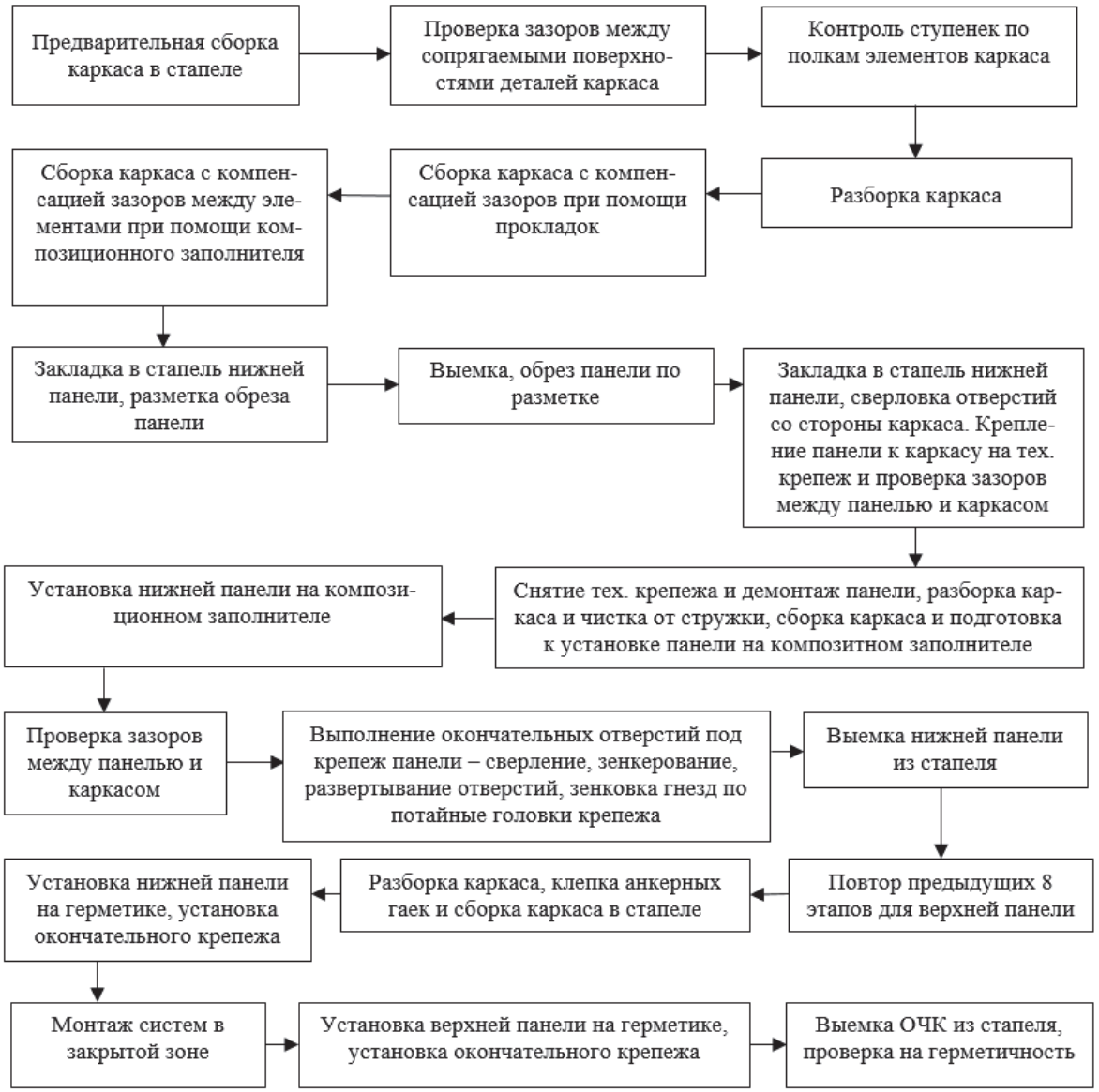


Рисунок 1 – Укрупненный процесс сборки кессона ОЧК в стапеле

После испытания консоли выполняется монтажи систем в хвостовой и носовой части ОЧК (в сухой зоне), выполняется навеска агрегатов и оставшаяся часть внестапельных работ.

В данной схеме (см. рисунок 1) стоит обратить внимание на особенности сборки с точки зрения компенсации возникающих зазоров в конструкции, при допуске на поставку деталей с точностью изготовления ±0,1 мм согласно технических требований на поставку деталей. Возникающие зазоры, в виду наложения полей допусков, компенсируются прокладками из алюминиевого сплава, если зазор составляет от 1,5 до 2 мм, зазоры от 0,3 мм до 1,5 мм компенсируются за счет композиционного заполнителя, что является характерной особенность работы с КМ. В процессе сборки каркаса и установки панелей верхней и нижней контроль аэродинамических обводов осуществляется при помощи ложементов рубильников стапеля, что позволяет собрать конструкцию в соответствии с конструкторской документацией. Контроль точности сборки ОЧК дополнительно контролируется на этапе разделки предварительных отверстий в проушинах лонжеронов на стенде разделки, перед разделкой осуществляется нивелировка консоли по нивелировочным точкам [4]. В дальнейшем контроль точности сборки планера ЛА осуществляется в цехе окончательной сборки (ЦОС) по нивелировочным точкам. Данный процесс позволяет определить точное расположение агрегатов друг относительно друга планера ЛА до летных испытаний. Последующий этап проверки осуществляется после летных испытаний изделия.

В данной статье рассмотрены особенности технологии сборки отъемной части крыла кессонного типа, с малой толщиной сечения профиля и с типом соединения с центропланом: ухо – вилка. Рассмотрены основные этапы сборки, приведены базовые принципы обеспечения аэродинамических обводов с заданной точностью в соответствии с особыми техническими требованиями летательного аппарата.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00332.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гусева, Р. И. Проектирование и монтаж сборочных приспособлений: учеб. пособие / Р. И. Гусева, С. Б. Марьин. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2022. – 99 с .

2. Гусева, Р. И. Особенности конструкции стыковочного стенда хвостовой части фюзеляжа самолета истребителя / Р. И. Гусева, И. В. Молчанов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях. 2021. С. 286 – 288.

3. Гусева, Р. И. К вопросу расчета точности сборки узлов и агрегатов планера самолета / Р. И. Гусева // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2011. №1-1(5). С. 16-22.

4. Загородний, А. Е. Процесс стыковки отъемной части крыла и фюзеляжа самолета с применением автоматизированного стенда / А. Е. Загородний, С. Б. Марьин, И. В. Лозовский // Вестник Московского авиационного института. – 2023. – Т. 30, № 1. – С. 45-53.

УДК 629.5.018.23

Казанцев Данила Васильевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kazantsev Danila Vasilievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кириченко Виктор Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kirichenko Viktor Viktorovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бурменский Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Burmensky Andrey Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТА МАЛОГАБАРИТНОЙ БУКСИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПЫТОВОГО БАССЕЙНА КНАГУ

CONCEPT OF A SMALL-SIZED TOWING SYSTEM FOR THE KNAGU TOWING TANK

Аннотация. Вопросы исследования гидродинамики судов и в настоящее время являются актуальными. Не смотря на существенное развитие численной гидродинамики, физический эксперимент не утратил свое значение. Для проведения физических экспериментов по изучению ходкости судов применяются опытовые бассейны. На качество получаемых результатов буксировочных испытаний влияет много параметров: размеры экспериментальной установки, качество изготовления экспериментальных моделей, точность методик обработки результатов испытаний, а также особенности буксировочных систем опытовых бассейнов. Опытовый бассейн Комсомольского-на-Амуре государственного университета оснащен сразу двум типами буксировочных систем. В статье обсуждаются вопросы сравнения качеств и недостатков каждой из них, а также рассматривается вопрос разработки концепции модернизации буксировочной системы опытового бассейна.
Abstract. The issues of studying ship hydrodynamics are still relevant today. Despite the significant development of numerical hydrodynamics, physical experiment has not lost its importance. Towing tanks are used to conduct physical experiments to study the propulsion of ships. The quality of the results of towing tests is influenced by many parameters: the size of the experimental setup, the quality of manufacturing experimental models, the accuracy of the methods for processing test results, as well as the features of the towing systems of the experimental tanks. The towing tank of Komsomolsk-on-Amur State University is equipped with two types of towing systems at once. The article discusses the issues of comparing the qualities and disadvantages of each of them, and also considers the issue of developing a concept for modernizing the towing system of the towing tank.
Ключевые слова: опытовый бассейн, буксировочная система, гидродинамика, эксперимент, модернизация.
Key words: towing tank, towing system, hydrodynamics, experiment, modernization.
`

Если раньше исследования ходкости судов были направлены на снижение сопротивления корпусов с целью повышения их экономической эффективности за счет снижения потребления топлива при увеличении скорости доставки грузов, то введение в практику морских перевозок жестких экологических требований сделало исследования вопросов гидродинамики более актуальными. Кроме того, для обеспечения требуем значений коэффициента энергоэффективности судов проектанты стали разрабатывать инновационные формы корпуса, что также требует проведение широких исследований в этой области. Основной экспериментальной установкой для проведения физических экспериментов по изучению гидродинамики судов является опытовый бассейн, который в общем виде представляет собой продолговатую чашу с водой, оснащенную буксировочной системой и комплектом измерительно-регистрирующей аппаратуры. По своим размерам опытовые бассейны делятся на большие (длиной более 200 м), средние (длиной от 60 до 200 м) и малые (длиной менее 60 м). Буксировочные системы бассейнов бывают двух видов: гравитационного типа (ГБС) и буксировочные тележки (БТ) [1].

Малые опытовые бассейны

Учебные заведения, которые готовят специалистов в области кораблестроения и эксплуатации судов оснащены в основном малыми опытовыми бассейнами (рисунки 1-4). Среди наиболее известных следует отметить опытовые бассейны следующих ВУЗов России: ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (КнАГУ); ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева» (НГТУ); ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (КГТУ); ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» (СевГУ); ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»

(СПбГМТУ). Исключением является опытовый бассейн ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова» (ГУМРФ). Из-за длины бассейна его следует отнести к средним (таблица 1).

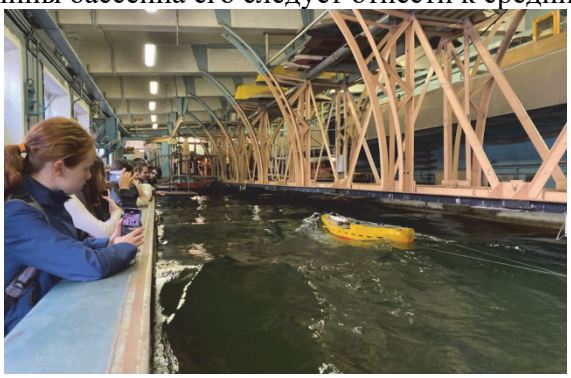


Рисунок 1 – Опытовый бассейн СПбГМТУ



Рисунок 2 – Опытовый бассейн КГТУ

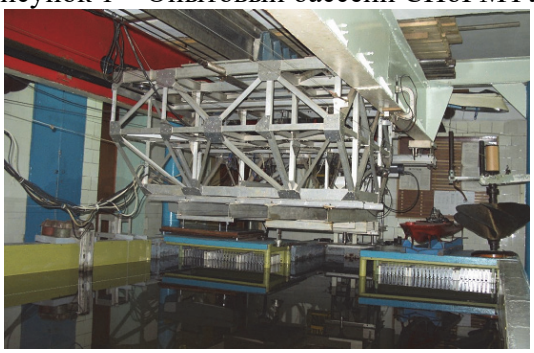


Рисунок 3 – Опытовый бассейн НГТУ



Рисунок 4 – Опытовый бассейн СевГУ

Малые опытовые бассейны в первую очередь являются учебными, где будущие корабелы и мореходы в процессе проведения лабораторных работ, а также выполнения научных исследований изучают мореходные качества судов и кораблей. Однако, благодаря своим размерам (таблица 1) и оснащению, эти уникальные экспериментальные установки широко используются для проведения широкого круга научных исследований аспирантами и сотрудниками ВУЗов.

Таблица 1 – Характеристики опытовых бассейнов учебных заведений России

Характеристика	ГУМРФ [2]	КнАГУ [3]	НГТУ [4]	КГТУ [5]	СевГУ [6]
Длина, м	110	45	18	30	10
Ширина, м	6	4,1	3,2	~ 6	3
Глубина, м	3	3,25	1	-	1,7
Тип буксируемой системы	БТ самоходная	ГБС, БТ несамоходная	ГБС, БТ несамоходная	БТ несамоходная	ГБС
Скорость БТ, м/с	0,1 – 6	0,01 – 4,8	0,3 – 3,5	до 3	

Буксировочные системы опытового бассейна КнАГУ

С 1989 года в КнАГУ » функционирует малый опытовый бассейн, который является основной экспериментальной лабораторией кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг». В настоящее время опытовый бассейн оснащен двумя буксировочными системами: большой буксировочной тележкой (рисунок 5) и буксировочной системой гравитационного типа (рисунок 6).

Каждая из систем проектировалась и строилась для решения своего круга задач. Большая буксировочная тележка (ББТ) с тросовым приводом представляет собой двухосную ферменную конструкцию, которая должна была обеспечить не только буксировку моделей, но и нахождение «на борту» тележки исследователей и регистрирующей аппаратуры. И хотя электропривод тележки обеспечивает широкий диапазон скорости буксировки, но наблюдается небольшая нестабильность режима тележки на малых и высоких скоростях. Также тележка испытывает небольшую вибрацию.



Рисунок 5 – Буксировочная тележка

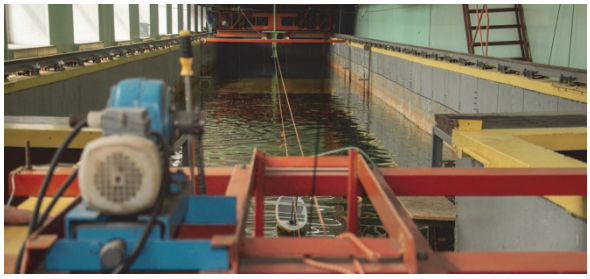


Рисунок 6 – ГБС

Также, не смотря на простоту конструкции и организации проведения экспериментов с помощью гравитационной буксировочной системы, опыт ее эксплуатации показал, что и она имеет достаточно существенные недостатки: сложность настройки и определение внутреннего сопротивления системы, а также сложность обработки результатов испытаний [7].

Развитие электронно-технической экспериментальной базы в настоящее время характеризуется малыми размерами и переходом на дистанционную систему передачи регистрируемых сигналов. Это позволяет перейти на использование в опытовом бассейне малогабаритной автономной буксировочной тележки.

Концепция малой буксировочной тележки для опытового бассейна КнАГУ

Суть концепции малогабаритной буксировочной системы – ее «мобильность». Мобильность системы заключается во временном ее монтаже на основе рамных конструкций, которые с регулярным шагом устанавливаются на рельсовые пути ББТ (рисунки 7-8).



Рисунок 7 – Буксировочная система

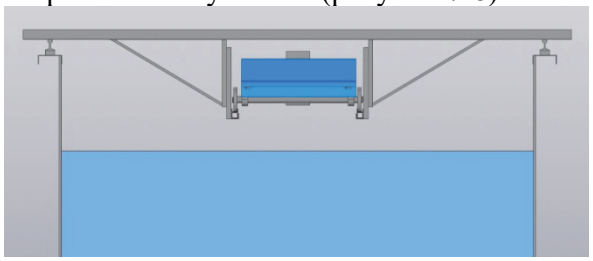


Рисунок 8 – Рамная конструкция

Данные рамные конструкции являются фундаментом для транспортных желобов, по которым перемещается малогабаритная буксировочная тележка (МБТ). При этом предусматривается регулировка высоты их установки над уровнем зеркала воды.

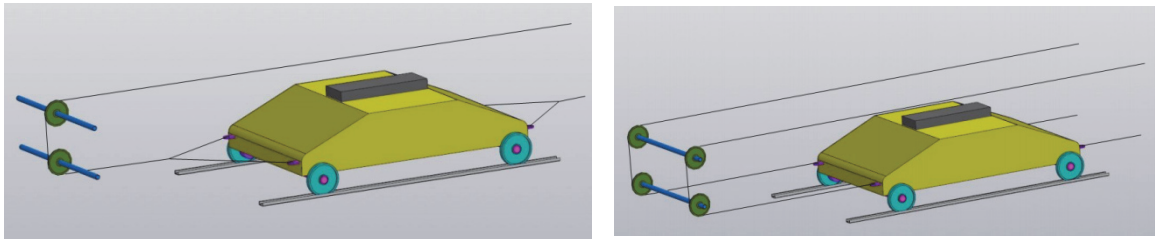


Рисунок 9 – Варианты запряжки несамоходной малой буксировочной тележки

МБТ представляет собой двухосную раму с пилонным блоком по центру и обтекаемым защитным кожухом корпуса. Рассматриваются варианты самоходной и несамоходной буксировочной тележки и два варианта запряжки последней для ее буксировки с помощью тросовой системы с электроприводом (рисунок 9).

Предлагаемая концепция разработки новой буксировочной системы в первую очередь предназначена для исследования ходкости судов с помощью «малогабаритных» экспериментальных моделей. Это конечно потребует разработки особой методологии проведения буксировочных испытаний, но этот вопрос является проблемой для всех малых опытовых бассейнов. Представленный вариант малой буксировочной тележки является не единственным вариантом ее реализации.

Например, дополнительно можно рассмотреть конструкционный вариант буксировочной системы с тележкой, движущейся по монорельсу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Современные гидродинамические лаборатории / В. О. Борусевич, А. А. Русецкий, К. Е. Сазонов, И. А. Соловьев. – Санкт-Петербург : ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2019. – 316 с.

2. Гофман, А. Д. О возможностях проведения модельных испытаний в опытовых бассейнах ограниченных размеров / А. Д. Гофман // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – № 1(23). – С. 54-59. – EDN SFKGQJ.

3. Журбина, И. Н. Развитие экспериментальной базы опытового бассейна КНАГТУ для исследования морской техники / И. Н. Журбина, Е. И. Селиванов, М. П. Шадрин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2014. – Т. 1, № 1(17). – С. 92-98.

4. Краснокутский, И. Д. «Опытовый бассейн» Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева / И. Д. Краснокутский // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2013. – № 12 (декабрь). – С. 71–75. – URL: http://e-koncept.ru/2013/13255.htm. (дата обращения 4.04.2025)

5. Недоступ, А. А. Экспериментальные исследования модели катамарана / А. А. Недоступ, Е. И. Сергеев, Е. А. Чуреев // Известия КГТУ. – 2024. – № 72. – С. 105-114.

6. Зиньковский-Горбатенко В. Г. Моделирование сопротивления судов в малом опытовом бассейне / В. Г. Зиньковский-Горбатенко, Г. Н. Грищенко // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь, 2005. – Вып. 75. – С.35 – 39.

7. Методика обработки результатов буксировочных испытаний моделей судов в опытовом бассейне / Н. А. Тарануха, С. В. Кошкин, Е. И. Селиванов, М. П. Шадрин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2011. – Т. 1, № 6. – С. 86-94. – EDN OCRZBF.

УДК 620.92

Клюшин Константин Николаевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Klyushin Konstantin Nikoleevich, student, Komsomolsk- na-Amure State University

Баранов Евгений Витальевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Baranov Evgeniy Vitalyevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ

POSSIBILITIES OF OBTAINING AND USING BIOGAS IN THE KHABAROVSK TERRITORY

Аннотация. В статье рассматриваются возможности для производства биогаза в Хабаровском крае путем перерабатывания вторичных источников энергии, таких как отходы ферм, животноводческих предприятий и заводов, бытовые отходы. В настоящее время эти отходы и продукты переработки занимают лишние земельные участки, вносят негативный след в экологию края и требуют определенных мероприятий для поддержания их хранения. Предлагается с помощью специальных технологий и устройств производить и использовать биогаз для малых хозяйств, ферм, предприятий. Полученную тепловую или электрическую энергию предлагается направлять на обеспечение собственных нужд и потребностей. Энергию биогаза как топлива можно направить на промышленное использование – для обеспечения работы ТЭЦ, транспорта, отопительных систем населенных пунктов. Правильное производство биогаза из отходов не только позволит получить дополнительную энергию,

но и улучшить экологические аспекты в различных направлениях – уменьшить загрязнение грунтовых вод, почвы и воздуха, предотвратить возможные экологические катастрофы.
Abstract. The article discusses the possibilities for the production of biogas in the Khabarovsk Territory by processing secondary energy sources, such as waste from farms, livestock enterprises and factories, household waste. Currently, these wastes and processed products occupy excess land, make a negative impact on the ecology of the region and require certain measures to maintain their storage. It is proposed to produce and use biogas for small farms, farms, and enterprises using special technologies and devices. The received thermal or electrical energy is proposed to be used to meet their own needs and requirements. The energy of biogas as a fuel can be used for industrial use – to ensure the operation of thermal power plants, transport, and heating systems in populated areas. Proper biogas production from waste will not only provide additional energy, but also improve environmental aspects in various ways – to reduce groundwater pollution.
Ключевые слова: нетрадиционная энергетика, вторичные источники энергии, биогаз, экология
Keywords: non-traditional energy, secondary energy sources, biogas, ecology

Цены на топливо для потребителя непрерывно растут, конъюнктура рынка углеводородов меняется и, в большинстве случаев, не в пользу населения. Проблемы с энергообеспечением и теплоснабжением прибавляются как в малоэтажных застройках, так и на предприятиях и в городских массивах. Хотя решение этих проблем находится рядом или, даже можно сказать, под ногами. Говорить будем о «молодом» и дешёвом углеводородном продукте, название которого биогаз. В качестве компонентов для производства биогаза выступают любые органические отходы, остатки после сбора или очищения урожая сельскохозяйственных комплексов, любые отходы с лесопильных участков и многое другое. Стоит задуматься и о том, как утилизировать отходы животноводческих ферм, мясоперерабатывающих фабрик или бытовые отходы из населенных пунктов. Ответ на поверхности – применение полигонов для захоронения или сбора бытовых отходов. Но это как раз и наносит колоссальный вред природе и возможному развитию очагов инфекции. Таким образом, получение биогазового топлива из отходов носит актуальный с разных сторон характер и помогает решить разнообразные энергетические и экологические вопросы.

Требуемая для жизнедеятельности предприятий, ферм, заводов и отдельных людей энергия может быть получена традиционно путем добывания и сжигания угля, нефти или газа. Но сегодня уже существуют компактные энергетические установки, использующие в качестве топлива биогаза и способные размещаться на небольших площадях. Они способны обеспечить энергией и теплом среднее предприятие или улицу с малоэтажными домами. Существуют компактные установки для обеспечения энергией одного дома.

Биогаз может работать на человечество и приносить пользу в сфере транспорта и логистики. Городские автобусы, перевозящие людей, и грузовой транспорт, осуществляющий перевозку грузов между населенными пунктами, могут быть оборудованы специальными двигателя внутреннего сгорания, работающими на биогазе. Расходы биогаза как топлива для автобусов, перевозящих пассажиров, вполовину ниже расхода жидких углеводородов, а это может снизить цену за проезд на транспорте. Не надо забывать и про сферу туризма. В настоящие время турист в походе или на берегу моря редко разжигает костры для приготовления пищи, все чаще используются портативные газовые плиты, которым также нужен газ или биогаз. Не следует недооценивать значимость биогаза для населения и его возможности. У биогаза спектр применения широкий: от простых домашних газовых плит до использования в средствах передвижения (автомобили). Никто не задумывался, что может иметь свою собственную заправочную колонку для своего автомобиля у себя дома, и быть независимым от ряда обстоятельств, например, в случае удалённости или при высоких ценах на жидкие углеводороды в своем регионе. Перебои в электроснабжении и теплоснабжении, с учетом собственной генерации зеленой энергии – биогаза, уже не страшны. Собственное производство биогаза позволяет получить вторичный продукт в виде удобрения и воду для полива полей или оросительных участков. Установки для сжигания биогаза позволят обеспечить электроэнергией и теплом жилое помещение, приусадебное хозяй-

ство, животноводческую ферму, цеха предприятия. Существуют предприятия, которые имеют достаточное количество собственного сырья, которое может стать вторичным энергетическим ресурсом для создания биогаза, при этом сейчас эти предприятия тратят финансы на утилизацию этих ресурсов. Например, в городе Хабаровске завод «Балтика» по производству пива регулярно, вне зависимости от сезона, имеет в наличии отходы отжимки солода. Мясоперерабатывающий комбинат «Хабаровский бройлер» располагает органическими отходами производства. На полях в районе села Дружба после сбора урожая кукурузы и сои остаются очищенные от зерна початки, измельченные стебли. Определенные предприятия располагают просроченными продуктами либо другой «ненужной» органикой. Это и есть потенциальные ресурсы для биогазового топлива. Биогаз возможно использовать как постоянную или временную добавку к основному топливу на предприятиях, таких как ТЭЦ, ТЭС и других. Использовать биогаз, как добавку в котлоагрегатах более чем возможно, поскольку это влечет значительный экономический эффект при выработке энергии. Рассмотрим применение биогаза в момент растопки энергетического котла с целью доведения его до номинальных параметров. Если использовать не проектное топливо типа мазута, а его аналог – биогаз, то это снизит затраты на пусковые операции, либо улучшит пусковой процесс, в зависимости от ситуации. Определение соотношения биогаза и проектного топлива возможно во время работы электростанции. Каждая электрическая станция имеет аккумуляторные батареи на случай аварии. Но работа этих аккумуляторов ограничена временем около двух часов. Небольшая энергетическая установка на биогазе может взять на себя и эту нагрузку, учитывая, что без электроэнергии восстановительные работы невозможны. Конечно, для таких предприятий нужны промышленные объёмы биогаза. В таких случаях предусматривают биореакторы, в том числе сам комплекс очистки и хранения биотоплива, способный частично обеспечить такого потребителя, как ТЭЦ. С ростом «аппетита» по использованию данного топлива требуются и промышленные объёмы сырья. В связи с этим можно использовать сточные воды города Хабаровска МУП «Водоканал», отходы мусороперерабатывающей станции «Северная», завода по производству пива «Балтика», птицефабрики «Хабаровский бройлер» в поселке Березовка. Данные предприятия находятся вблизи с электростанцией СП «Хабаровская ТЭЦ 3». Географическое расположение этих предприятий позволит обеспечить сырьем для производства биогаза в нужном объёме, а само использование биогаза снизит затраты на выработку электрической энергии или тепла. Рассмотрим применение биогаза в экологическом аспекте. Сельскохозяйственная отрасль, мясоперерабатывающие предприятия, предприятия общепита всегда в процессе работы будут производить органические отходы. Их утилизацию производят на полигонах для захоронения. В процессе разложения этих отходов происходит химическая реакция, поднятие температуры и естественным образом происходит образование газовых карманов (биогаза и свалочного газа) в почве самого захоронения. Подобные могильники грозят экологической катастрофой, уничтожают целые экосистемы разных форм жизни. Может дойти до самовозгорания, подземных пожаров с выделением ядовитых веществ в атмосферу. Тушение подобных пожаров практически невозможно из-за труднодоступности самих очагов. Переход из подземного состояния горения в наземный легок и быстр. Так в 1998 году в городе Хабаровске задымление и содержание CO_2 в воздухе достигло критических значений, что привело к различного рода заболеваниям и патологиям у новорожденных. Грунтовые воды, проходя через могильник, разносят различную инфекцию и токсины, которые, выходя к реке, увеличивают масштабы заражения. В районе протоки Малышева реки Амур произошел замор рыбы разных пород из-за несанкционированного скотомогильника в сотне метров от берега. Ответственные предприятия несут огромные финансовые потери из-за утилизации отходов их деятельности. Использование отходов для производства биогаза может приносить прибыль этим предприятиям. Объекты по переработке органических отходов способны производить не только топливо и снижать себестоимость продукта энергетической отрасли, а также производить другие химические вещества и материалы. Сортировочные пункты способны превращать отходы в энергетические ресурсы, полезный продукт и материалы.

Общественный транспорт в городе, работающий на биогазе, снизит концентрацию вредных веществ в черте города. Экологическая обстановка в городской черте улучшится, уменьшится число заболеваний, связанных с дыхательной и сердечно-сосудистой системами. Внедрение технологий по переработке отходов в промышленный цикл производства биогаза с помощью биореакторов, установок биоочистки является важным вкладом в направление устойчивого развития города, края, а также способствует улучшению экологической обстановки. Полученные потоки энергии затем можно распределять и применять в разнообразных сферах жизнедеятельности человека.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лабейш, В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В.Г. Лабейш: Учеб. пособие. - СПб.: СЗТУ, 2003.-79 с.

2. Основы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Я. Федянин, С. О. Хомутов, В. М. Иванов, И. А. Бахтина, Т. Ю. Иванова; под ред. В. Я. Федянина. – Барнаул: ООО «МЦ ЭОР», 2018. – 146 стр. - EDN: URCRFK.

3. Риполь- Сарагоси, Т.Л. Возобновляемые и нетрадиционные источники энергии. Учебно-методическое пособие. / Т.Л. Риполь- Сарагоси, А.Б. Кууск. Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т. путей сообщения, 2019. – 122 с.

УДК 629.78

Кривенко Марина Юрьевна, старший преподаватель кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Krivenko Marina Yuryevna, Senior Lecturer, Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-on-Amur State University
Бобков Александр Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bobkov Alexander Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

МОМЕНТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ

MOMENTARY EFFECT OF ELECTROMECHANICAL DEVICES ON THE SPACE VEHICLE

Аннотация. В статье указаны возмущающие моменты от электромеханических устройств космического аппарата, создающие внутренние возмущающие моменты, дестабилизирующие аппарат.
Abstract. The article indicates disturbing moments from the electromechanical devices of the spacecraft, which create internal disturbing moments that destabilize the spacecraft.
Ключевые слова: роторные устройства, возмущающие моменты, космический аппарат, система ориентации и стабилизации
Key words: rotor devices, disturbing moments, spacecraft, orientation and stabilization system

Воздействие электромеханических устройств роторного типа на корпус космического аппарата (КА) интерпретируется как внутренние возмущающие моменты на систему ориентации и стабилизации КА, компенсируемые с затратой не возобновляемого запаса рабочего тела ракетных микродвигателей КА. Состав электромеханических устройств КА разнообразен. К ним относятся насосы, компрессоры, вентиляторы, приводы солнечных батарей, генераторы. В качестве примера на рис. 1 и 2 представлены принципиальная схема системы терморегулирования (СТР) КА «Янтарь» [1] и конструкция гидроблока.

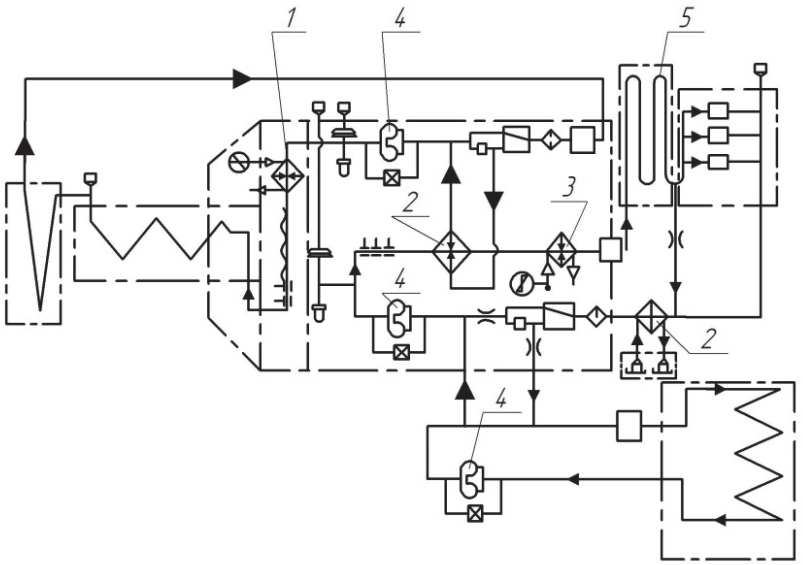


Рисунок 1 – Схема системы терморегулирования КА «Янтарь»
1, 2, 3 – теплообменник, 4 – гидроблок, 5 – радиатор

Система содержит три гидравлических контура. Циркуляцию теплоносителя в каждом из них обеспечивает гидроблок, состоящий из двух центробежных насосов, один из которых основной, а второй резервный. Центробежный насос относится к лопаточным машинам роторного типа. На КА в качестве приводов в насосах используются бесконтактные электродвигатели.Уровень возмущающего воздействия пропорционален мощности, частоте вращения и массе ротора приводов устройств. В таблицах 1 и 2 представлены характеристики приводов нагнетателей, солнечных батарей и преобразователей тока КА [2,3].

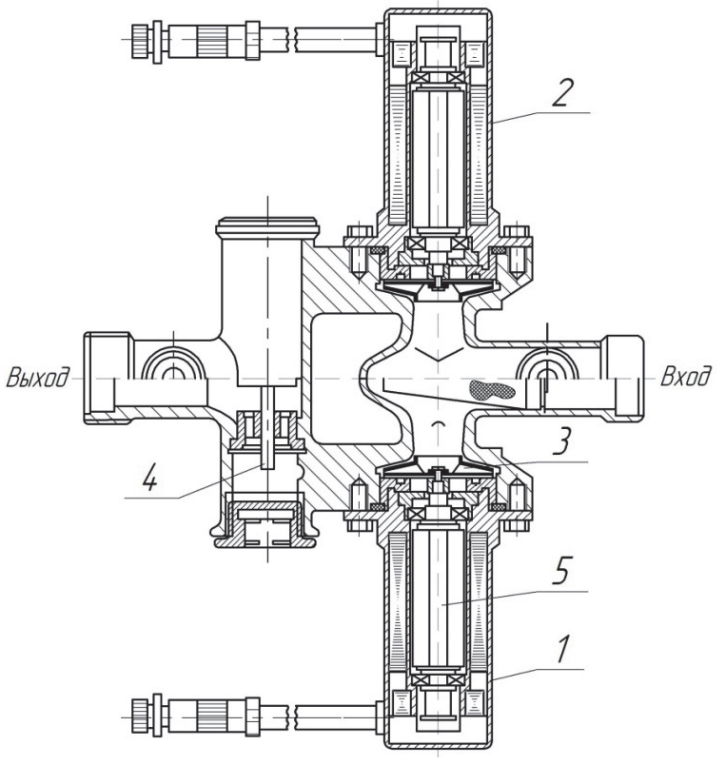


Рисунок 2 – Гидроблок из двух центробежных насосов СТР КА «Янтарь»
1 – основной насос; 2 – резервный насос, 3 – рабочее колесо, 4 – переключающий клапан, 5 – ротор насоса

Таблица 1 – Параметры приводов нагнетателей КА

№	Привод	Назначение	Мощность, Вт	Частота вращения, об/мин	Масса, кг
1	ДБ 60-90-4А	Гидроблоки и вентиляторы систем терморегулирования	90	4000	1,6
2	БК-1826		90	6000	3,0
3	ДБ 60-60-4А		60	4000	1,4
4	ДБ 60-40-4А		44	4400	2,2
5	БК-2634		40	4000	2,0
6	БК-1626		40	6000	1,5
7	БК-2624		25	4000	1,6
8	ДБ 60-16-06А		16	600	2,1
9	БК-2524		10	4000	0,92
10	БК-2424		6	4000	0,59
11	БК-2414		4	4000	0,46
12	БК-2323		1	3000	0,26

Таблица 2 – Параметры приводов ориентации солнечных батарей и преобразователей тока

Привод устройства	Мощность, Вт	Частота вращения, об/мин	Масса, кг	Назначение
Электропривод раскрытия антенн ПРС-1	16,8	д/о*	1,2	раскрытие / сдерживание штанг антенн
Электропривод раскрытия антенн ПРС-2	16,8	д/о	7	
Привод системы ориентации солнечных батарей	30	д/о	д/о	раскрытие солнечных батарей
Электродвигатель системы ориентации солнечных батарей MAXON RE 40	150	6380	0,48	приводы солнечных батарей
Преобразователь системы электроснабжения	180	7500	д/о	преобразователь системы электроснабжения космического аппарата
Электромашинный преобразователь ПТ-200	200	15000	д/о	
Электромашинный преобразователь ПТ-500	500	15000	д/о	
Вентилятор космического корабля НАСА	д/о	12000	1,63	вентилятор вентиляции кабины космического корабля НАСА

*д/о — данные отсутствуют

Величина и динамика изменения возмущающего момента агрегата зависят от его энергетических параметров: момента инерции – J, угловой скорости вращения ротора – ω, (рад/с), коэффициента полезного действия устройства – η и мощности – N, (Вт). Указанные факторы прямо или косвенно влияют на величину внутренних возмущающих моментов: реактивного или гироскопического.

Реактивный момент, существуя весь период работы устройства, зависит от мощности электромеханического устройства и оказывается самым длительным по времени воздействия моментом, создавая на КА противоположно направленный крутящий момент. Гироскопический момент, возникает при угловом маневрировании КА, когда ротор электромеханического устройства совершает прецессию относительно своего стационарного положения. Величина гироскопического момента зависит от момента инерции ротора, а так-

же от величины и скорости угловой коррекции пространственного положения КА. Таблица 3 схематично иллюстрирует состав и взаимодействие параметров, влияющих на моментно-инерционный облик электромеханического устройства.

Таблица 3 – Условия возникновения и характер изменения возмущающих моментов

№	Угловая характеристика возмущающих моментов	Возмущающий момент	
		Гироскопический	Реактивный
1	$\frac{d\overline{\omega}}{dt} \neq 0,\ \frac{d\overline{\varphi}}{dt} \neq 0$	$\overline{M}_{гир}$, □	$\overline{M}_{рс}$, □
2	$\frac{d\overline{\omega}}{dt} \neq 0,\ \frac{d\overline{\varphi}}{dt} = 0$	$\overline{M}_{гир}$, □	$\overline{M}_{рс}$, □
3	$\frac{d\overline{\omega}}{dt} \neq 0,\ \frac{d\overline{\varphi}}{dt} = 0$	$\overline{M}_{гир} = 0$	$\overline{M}_{рс}$, □
4	$\frac{d\overline{\omega}}{dt} = 0,\ \frac{d\overline{\varphi}}{dt} \neq 0$	$\overline{M}_{гир}$, □	$\overline{M}_{рс} = \text{const}$

В таблице приняты обозначения: φ – угол отклонения кинетического момента роторного устройства при маневрировании КА; $\frac{d\overline{\varphi}}{dt}$ – скорость изменения φ; $\frac{d\overline{\omega}}{dt}$ – скорость изменения ω; стрелки □ и □ характеризуют характер изменения момента, его увеличение или уменьшение.

Часть реактивных моментов от электромеханических устройств взаимоуравновешивается схемой размещения, при которой вращение их роторов оказывается разнонаправленным [4]. Компенсацию остаточного реактивного момента осуществляют с помощью двигателей-маховиков (ДМ). При его «насыщении» кинетическим моментом производится «разгрузка» ДМ с помощью реактивных микродвигателей, входящих в состав системы ориентации и стабилизации КА. Их топливо периодически тратится на:

- компенсацию гироскопических моментов электромеханических устройств при угловых перемещениях КА,
- «разгрузку» ДМ при их «насыщении» накопленным кинетическим моментом.

Из-за расхода топлива реактивных микродвигателей на компенсацию внутренних возмущающих моментов от электромеханических устройств снижается ресурс функционирования КА.

При совершенствовании электромеханических устройств КА, наряду с повышением энергоэффективности, требуется проводить анализ их моментно-инерционного воздействия на космический аппарат. С целью снижения нагрузки на систему ориентации и стабилизации КА, при сохранении потребной мощности устройства, целесообразно уменьшать момент инерции его ротора и перераспределять соотношение между крутящим моментом и угловой частотой вращения ротора в пользу последнего.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Атамасов, В. Д. Системы исполнительных органов космического аппарата «Янтарь» : учеб. пособие / В. Д. Атамасов, С. Г. Беляев. – Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет, 2013. – 135 с.

2. Авербух, В. Я. Космическая прецизионная электромеханика / В. Я. Авербух // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2011. – Т. 124, № 5. – С. 17-28.

3. Электромеханические системы ориентации солнечных батарей искусственных спутников Земли / Стома С.А., Авербух В.Я., Лещинский Э.А. // Электротехника. 1996. №5.

4. Туманов, А. В. Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов (2-е издание) / А. В. Туманов, В. В. Зеленцов, Г. А. Щеглов. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2016. – 576 с.

УДК 593.3, 539.52
Левченко Владислав Сергеевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Levchenko Vladislav Sergeyevich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University
Бормотин Константин Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bormotin Konstantin Sergeyevich, doctor of physical and mathematical sciences, Associate Professor, Professor of the Department «Aircraft Engineering», Komsomolsk-na-Amure State University

РАСЧЁТ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЗАЖИМА НА ОБТЯЖНОМ ПРЕССЕ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ В MSC.MARC

CALCULATION OF THE MOVEMENT TRAJECTORY OF THE CLAMP ON A TENSION PRESS DURING THE FORMING OF A SHEET BLANK USING MODELING IN MSC.MARC

Для построения управляющей программ обтяжного пресса необходимо определить эвольвенту движения зажимных губок. Один из известных способов построения траектории движения зажимных губок основывается на геометрических свойствах эвольвенты. Предлагается определять данную траекторию в системе Marc методом компьютерного моделирования процесса формоизменения листа обтяжкой, по результатам которого можно отследить движение зажима на каждом этапе деформирования заготовки. В данной работе представлен геометрический метод и метод компьютерного моделирования для расчета траектории движения зажимных губок обтяжного пресса Т-600, используемого на предприятиях авиационной промышленности.
To construct the control program for the wrapping press, it is necessary to determine the evolute of the movement of the clamping jaws. One of the well-known methods for constructing the trajectory of the clamping jaws is based on the geometric properties of the evolute. It is proposed to determine this trajectory in the Marc system using computer modeling of the sheet deformation process during wrapping, based on which it is possible to track the movement of the clamp at each stage of the workpiece deformation. This paper presents a geometric method and a computer modeling method for calculating the trajectory of movement of the clamping jaws of the T-600 wrapping press, which is used in enterprises of the aviation industry.
Ключевые слова: упругость, пластичность, обтяжка, метод конечных элементов, CAE-системы.
Key words: elasticity, plasticity, clamping, finite element method, CAE systems.

Формообразование на обтяжных прессах широко используется в авиастроении. В номенклатуру изделий, получаемых методом обтяжки, входят такие детали самолета как обшивки, панели, пояса нервюр и лонжеронов, уголки жесткости нервюр, стенки, перегородки, фитинги и т.д. Развитие авиастроения приводит к появлению новых самолетов, к которым предъявляются все более жесткие требования к качеству изготавливаемых деталей, в том числе на обтяжных прессах, это в свою очередь делает актуальным постоянное совершенствование технологических процессов, оборудования, управляющих программ [1]. Управляющая программа для пресса Т-600 включает в себя движение рабочих органов обтяжного пресса. У Т-600 это перемещение стола в вертикальной плоскости и перемещение зажимных губок в горизонтальной плоскости с радиальным вращением. Для получения качественной детали, исключение разрывов, гофр, шагреней необходимо, чтобы траектория движения зажимных губок была расчитана с учетом механических свойств материала, трения, допустимого растягивающего усилия.

Для расчета траектории движения зажимных губок была спроектирована модель обтяжного пресса (пуансон и два зажима) и листовой заготовки в CAD-системе Siemens NX (рисунок 1).

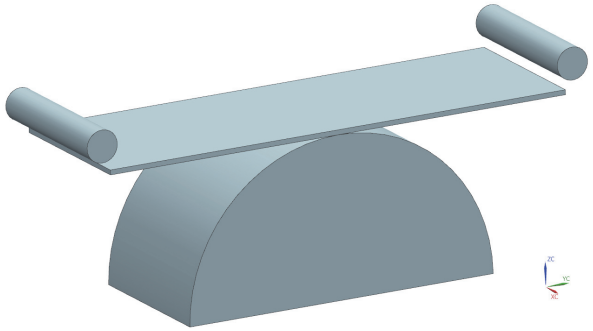


Рисунок 1 – Модель обтяжного пресса

Вычисление траектории движения зажима геометрическим методом происходит путем приложения к 2D модели пуансона касательных с расстоянием в 3° между ними (рисунок 2). С учетом того, что длина обтягиваемого участка постоянна, вычитая длину обернутого участка листа на каждом шаге, получаем координаты эвольвенты [2]. В результате получаем траекторию движения зажимной губки в процессе. Так как пуансон симметричный, рассматривается только правая часть.

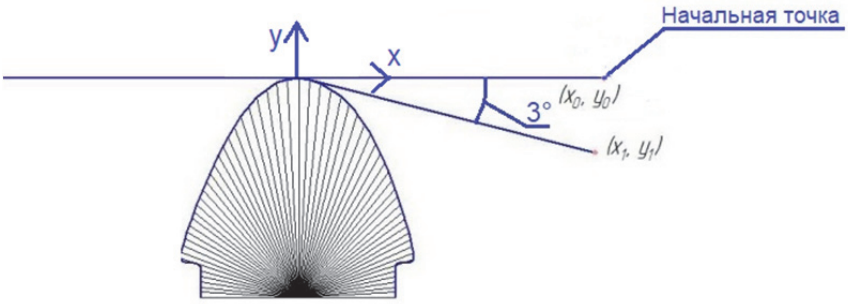


Рисунок 2 – Расчет траектории движения геометрическим методом

Определение траектории движения зажима обтяжного пресса методом компьютерного моделирования выполняется с помощью исследования процесса прижатия заготовки к пуансону до некоторой контрольной точки. Решение задачи моделирования процесса обтяжки листа и обработка результатов проводится методом конечных элементов в –пре и –пост процессоре Marc Mentat, используя ранее созданную 3D модель обтяжного пресса. В исследовании использовалась листовая заготовка толщиной 3 мм и длинной 300 мм Контактное взаимодействие заготовки с пуансоном на этапе нагружения определяется с коэффициентом трения равным 0.1. Заготовка имеет свойства материала 1163Т: модуль Юнга E = 7073 кГ/мм^2, коэффициент Пуассона v = 0.34, предел текучести $\sigma_T = 30$ кГ/мм^2, упрочнение задается степенной функцией $\sigma_T = A(\varepsilon_0 + \bar{\varepsilon}^p)^m$ (ε_0 - деформации, соответствующие начальному пределу текучести, A, m – константы материала). Для моделирования произвольных деформаций тела используется текущая Лагранжева формулировка и аддитивное разложение упругих и пластических деформаций [5]. В качестве граничных условий задаются перемещения зажима по координате x до обеспечения контакта листа и пуансона (в случае с обтяжным прессом Т-600 перемещение стола пресса по координате y). С целью обеспечения натяжения листа и исключения образования гофр, складок, задается на торце незначительное растягивающее давление (в данном случае, 1 кг/мм2). Так как зажимные губки на прессе Т-600 перемещаются только по оси x, а для построения траектории необходима так же координата y, то траектория движения стола по y заменяется перемещением заготовки, используя принцип обратимости движения. Решение задачи деформирования заготовки позволяет построить траекторию движения зажима в процессе обтяжки (рисунок 3) и отследить пластические деформации на каждом этапе формообразования (рисунок 4).

На рисунке 3 показана сравнительная диаграмма, отражающая траекторию движения зажима, полученную геометрическим методом и методом компьютерного моделирования.

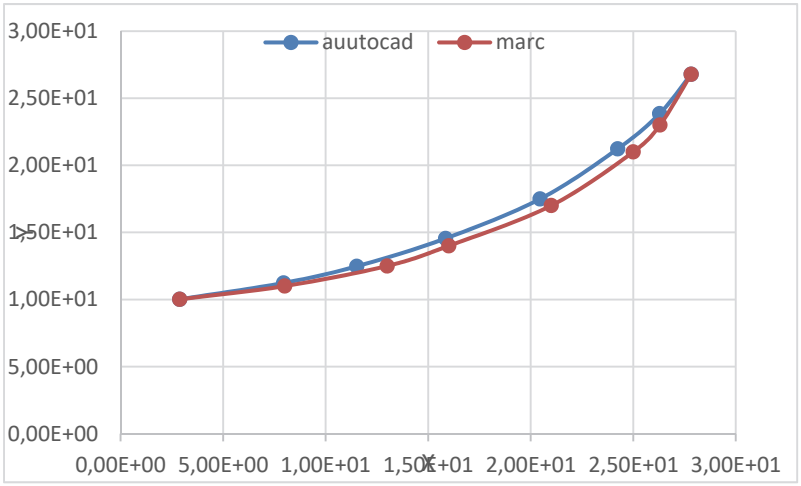


Рисунок 3 – Сравнение траектории полученных разными методами

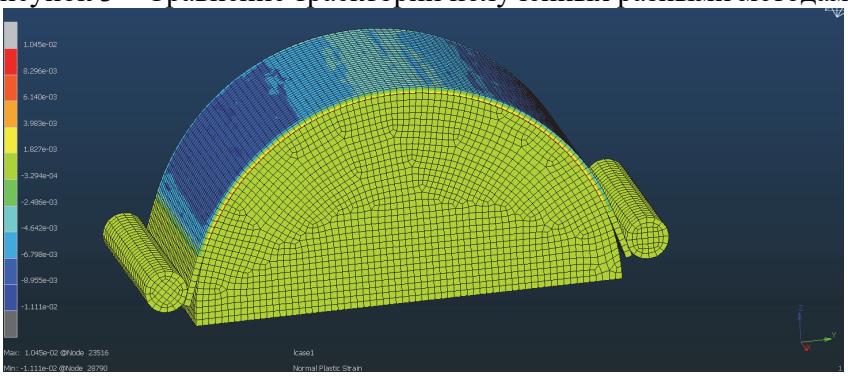


Рисунок 4 – Распределение пластических деформаций, возникших в процессе обтяжки

В данной работе рассмотрены методы расчета траектории движения зажимных губок обтяжного пресса в процессе формообразования листовой заготовки на обтяжном прессе Т-600, представлены данные пластических деформаций в CAE-системе Marc.

Геометрический метод определения траектории движения зажимных губок не позволяет точно определить положение зажима на любом произвольно взятом шаге, так как определяется геометрически, без учета законов механики, уровня деформаций, внешних условий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 25-29-00332).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Погарцева, М.М. Исследование процессов формообразования деталей летательных аппаратов методами изгиба с растяжением и последующим удалением части материала: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Комсомольск-на-Амуре, 2020 г.

2 Сурудин, С.В. Разработка способов обтяжки обводообразующих оболочек двойной кривизны применительно к прессам с программным управлением: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Самара, 2016 г.

3 Михеев, В. А. Разработка процессов формообразования обтяжкой обводообразующих оболочек летательных аппаратов с минимальной разнотолщинностью : специальность 05.03.05. «Технологии и машины обработки давлением» : дис. … докт. техн. наук / Михеев Владимир Александрович ; Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева – Самара, 2004 – 338 с.

4 Михеев В.А., Сурудин С.В. Основы расчета процесса формообразования обтяжкой тонких оболочек двойной кривизны // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 1(3). С.555-562.

5 Бормотин, К.С. Буренин А.А., Кривенок А.А. Об оптимизации кинематической схемы формообразования обтяжкой тонких упругопластических обшивок // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2022. № 2. С. 14-24.

УДК 629.7
Лозовский Иван Владимирович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Lozovsky Ivan Vladimirovich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University
Марьин Сергей Борисович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Maryin Sergey Borisovich, doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СБОРКЕ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE ASSEMBLY OF AIRCRAFT STRUCTURES

Аннотация. В статье приводится опыт применения аддитивных технологий в технологических процессах сборки авиационных конструкций самолетов, в частности спроектирован и изготовлен кондуктор для выполнения отверстий под крепление кронштейна с обшивкой. Данная технология позволяет повысить производительность при изготовлении средств технологического оснащения при использовании не высоких затрат на изготовление.
Abstract. The article presents the experience of using additive technologies in the technological processes of assembling aircraft structures, in particular, a conductor was designed and manufactured to make holes in a casing bracket. This technology makes it possible to increase productivity in the manufacture of technological equipment using low manufacturing costs.
Ключевые слова: аддитивные технологии, сборка, самолеты, кондуктор.
Key words: additive technologies, assembly, airplanes, conductor.

В настоящее время на предприятиях авиационной промышленности широко внедряются аддитивные технологии в области изготовления технологической оснастки, которые имеют большие перспективы при сборке агрегатов самолетов [1,2]. Для относительно тонких современных крыльев самолетов характерна тонкостенная конструкция, состоящая из продольного и поперечного наборов и обшивок. Основным силовым элементом отъемной части крыла самолета-истребителя является кессон, он выполнен в виде бака и состоит из верхних и нижних панелей, а также 3-х стенок собранной конструкции, стрингеров и ряда нервюр. Одним из самых ответственных этапов сборки самолета является сборка кессона крыла и в частности соединение панелей со стенками. В результате установки более тяжёлых контейнеров на законцовках крыла в районе концевой нервюры совместно с прилегающей стенкой, верхней и нижней панелями происходит разрушение существующего крепежа [3].

В ходе решения данной проблемы было принято доработать конструкцию, заменить крепёж из более прочного сплава и добавить кронштейн (рисунок 1), крепящий верхнюю панель с верхней полкой стенки кессона.

Кронштейн поступает на сборку с одним отверстием из трёх, которое крепит его с верхней полкой стенки (рисунок 2). Отверстия крепления кронштейна с верхней панелью размечаются вручную, что в значительной степени увеличивает вероятность дефектов в виде эллипсности, несоблюдения перемычек и неперпендикулярности.

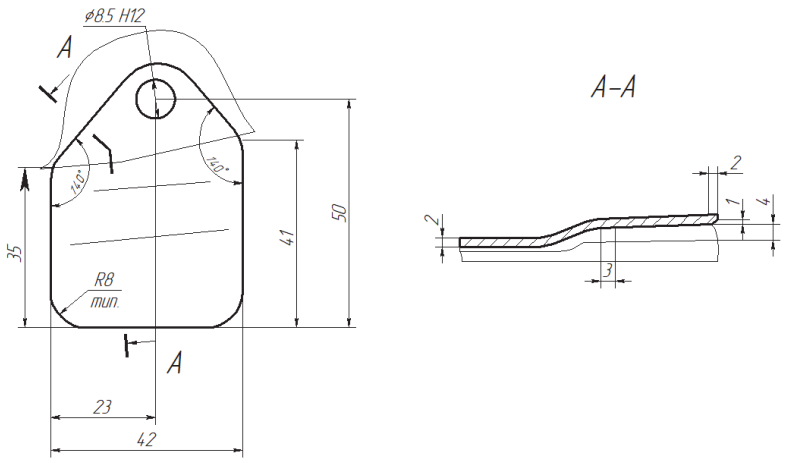


Рисунок 1 – Вид кронштейна, поступающего на сборку

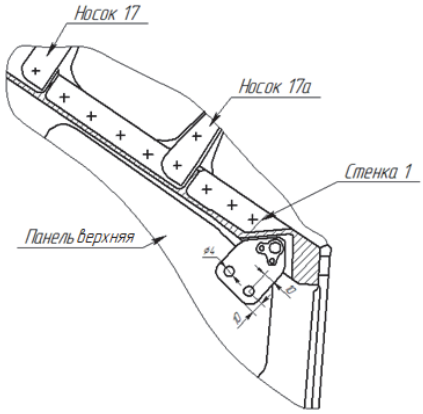


Рисунок 2 – Место установки введённого кронштейна

Во избежание образования дефектов, при выполнении двух отверстий под крепление кронштейна с верхней панелью по разметке и уменьшении времени установки кронштейна предлагается использовать кондуктор, выполненный с помощью аддитивных технологий (рисунок 3).

Кондуктор устанавливается поверх кронштейна, фиксируется по боковым граням, далее они совместно крепятся технологическим крепежом к верхней полке стенки. Кондуктор фиксируется выступами к стенке, ограничивая любые перемещения в плоскостях. Кондуктор повторяет контур кронштейна за исключением элементов фиксации.

а) б)

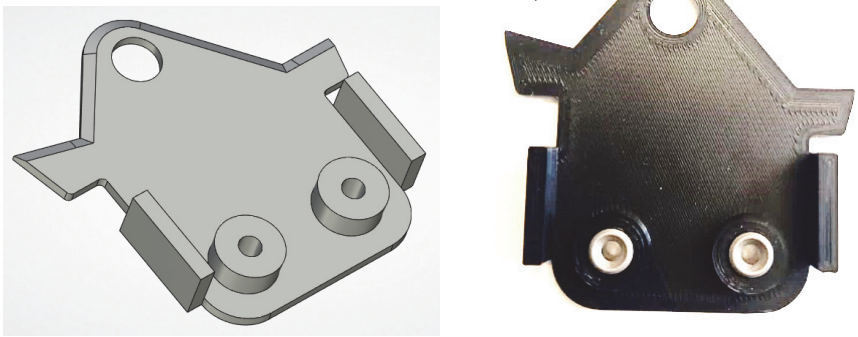


Рисунок 3 – Кондуктор для выполнения отверстий крепления кронштейна с нижней панелью а) – Электронная модель б) – Изготовленный кондуктор методом трехмерной печати

Спроектированный и изготовленный кондуктор (см рисунок 3) позволит исключить брак, возникающий при выполнении отверстий в кронштейне, а также сократит цикл сбор-

ки за счёт исключения ручной разметки и возможности сверления окончательных отверстий в кронштейне совместно с панелью.

Применение трехмерной печати при изготовлении технологической оснастки в авиационном производстве позволяет:

1. Снизить стоимость технологической оснастки;
2. Сократить сроки технологической подготовки производства;
3. Проводить оперативное изменение в конструкции технологической оснастки;
4. Перерабатывать отработанную оснастку в рамках одного производства.

Недостатки трехмерной печати при изготовлении технологической оснастки:

1. Невысокая прочность, жесткость, термостойкость элементов конструкции технологической оснастки;
2. Невысокая степень внедрения трехмерной печати на производстве;
3. Относительно невысокая точность изготовления деталей технологической оснастки;
4. Существующие принтеры не позволяют печатать крупногабаритные детали

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Волков, Р. В. Проектирование и изготовление оснастки для штамповки деталей типа «тройник» методом аддитивных технологий / Р. В. Волков, И. В. Лозовский // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 184-186.

2. Лопатин, А. Н. Изготовление формообразующей оснастки аддитивными методами для композитных деталей / А. Н. Лопатин, И. Д. Зверков // Авиационные материалы и технологии. – 2019. – № 2(55). – 53- 59 с.

3. Гусева, Р. И. Проектирование и монтаж сборочных приспособлений / Р. И. Гусева, С. Б. Марьин. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – 98 с.

УДК 629.5.02

Ло Чэнчжао, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Luo Chengzhao, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Морозова Олеся Анатольевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Morozova Olesya Anatolyevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Журбина Ирина Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Zhurbina Irina Nikolaevna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

ОБЗОР CAD-СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СУДОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

OVERVIEW OF CAD-SYSTEMS FOR SHIP SURFACE MODELING

Аннотация. В данной статье рассматриваются CAD-системы моделирования поверхностей при проектировании судна (корабля), представлены возможности этих систем. Показано, что одной из главных задач при компьютерном моделировании судовой поверхности является разработка качественной гладкой поверхности. Данная процедура занимает достаточный объем времени и, как результат является важной для дальнейших расчетов.

Abstract. In this article CAD-systems for surface modeling in ship (vessel) design are considered, the capabilities of these systems are presented. It is given that one of the main challenges in com-

puter modeling of ship surface is to develop a quality smooth surface. This procedure takes a fair amount of time and, as a result, is important for further calculations.
Ключевые слова: программное обеспечение, 3D-модель, проектирование, судовая поверхность, гладкость обводов судна, контроль формы поверхности.
Key words: software program, 3D-model, designing, surface ship, smoothness of the ship's outline, surface finish control.

В современных условиях развития информационных технологий любое производство основывается на использовании PLM-систем, то есть систем поддержки жизненного цикла изделия, где ядром является цифровая модель изделия. Это относится и к судостроительной отрасли. В отличии от машиностроительных отраслей цифровая модель судна имеет очень сложную структуру. Изделие судостроения является самой большой и сложной технической системой. И, наверное, самое сложное в этой модели – это описание поверхности корпуса судна, которая не может быть описана аналитически. Поэтому, для её формирования (моделирования), используется специальный математический аппарат. Он реализован в специализированных CAD-системах или приложений к ним. Следует отметить, что в настоящее время в России отсутствуют полноценные решения, что сдерживает создание отечественной тяжелой PLM-системы. Однако работы в этом направлении ведутся. Например, частично реализовано формирование судовой поверхности в КОМПАС-3D компании АСКОН.

К числу наиболее известных CAD-систем моделирования судовой поверхности можно отнести следующие: AVEVA Marine Initial Design, Fastship, FreeShip, Rhino Marine, Sea Solution, FORAN, K3-SHIP, SAPS, ShipModel и др.

Моделирование в этих программах выполняется на основе:

- сетки, формируемой из поперечных и продольных сечений;
- участков поверхностей, заданных ограничивающими их сплайнами.

AVEVA Marine Initial Design. Модуль Initial Design позволяет создавать каркас судна с дальнейшим формированием его поверхности и заданием элементов внутренней геометрии. Каркас судна строится на основе ординат теоретического чертежа и представляет собой некоторый массив точек для создания шпангоутов. Для сглаживания шпангоутов точки можно перемещать, добавлять, удалять, изменять их тип. Также в программе имеется контроль плавности кривых. Судовая поверхность создается по полученным кривым либо модификацией каркаса, либо перемещением патчей (контрольных точек) [1].

Fastship. Программа, позволяющая быстро и точно проектировать обводы судов. В Fastship6 при построении поверхностей используются NURBS-кривые. Использование математики NURBS (нестандартный рациональный B-сплайн) помогает создавать сложные, плавные кривые и поверхности с высокой точностью [2]. В результате геометрическая модель создается с достаточной степенью надежности. Гибкость FastShip позволяет создавать модели любых типов корпусов, а также такие элементы корпуса, как скуловые кили, бульбообразные носовые обводы, двойные скуловые кили, скулы/клюзы, ломаные ватерлинии и круговые килевые обводы.

Rhino Marine. Данная программа широко используется в морском проектировании. В основе Rhino лежит его способность к NURBS-моделированию в виде каркасных моделей [2, 3]. Для визуализации моделей в программе есть «визуализирующая сетка», которая генерирует поверхность с гладкостью, заданной по умолчанию. Расширенные инструменты Rhino для работы с поверхностями позволяют точно воспроизводить гидродинамические профили, обеспечивая оптимизацию характеристик.

Sea Solution. В программу интегрирован поверхностный модуль Surface, позволяющий проектировать поверхности судов различных типов, любой формы. Также моделируются переборки, надстройки, палубы, платформы. Важным достоинством программы является возможность создания библиотеки типовых форм. Это позволяет использовать типовые элементы, без их проектирования с нуля.

ShipModel. В программном комплекс ShipModel среды AutoCAD формируется теоретическая и конструктивная трехмерная модель поверхности корпуса судна. Моделирование криволинейных NURBS-поверхностей 3D-объекта создается на базе многоугольных сетей с их дальнейшей аппроксимацией, т.к. грани сети изначально плоские. В программе реализованы процедуры автоматического формирования разверток.

FORAN. Полностью интегрированная система для решений судостроения с поверхностным и объемным моделированием. Поверхность судна строится также, как и в программах Fastship, Rhino Marine и ShipModel на основе NURBS-моделирования. Для создания качественной модели в системе есть сглаживание кривых и патчей. Также есть возможность формирования переборок и поверхностей палуб. [4]

Freeship. Данная программа узкоспециализирована, предназначена для проектирования поверхности судна, основана на разбиение поверхностей на элементы. Для моделирования первоначально формируется управляющая сетка (рисунок 1). Сам процесс моделирования судовой поверхности состоит из перемещения узлов управляющей сетки, а также их добавления или удаления, что требует определенного навыка от проектировщика.

Для проверки гладкости моделируемой поверхности в программе Freeship есть несколько опций: «Искривление по Гауссу» и «Зебровая закраска». При использовании опции «Искривление по Гауссу» участки поверхности модели окрашиваются в различные цвета: синие, зеленые, красные. При «Зебровой закраске» области окрашиваются полосами по изменению блеска и теней на поверхности модели.

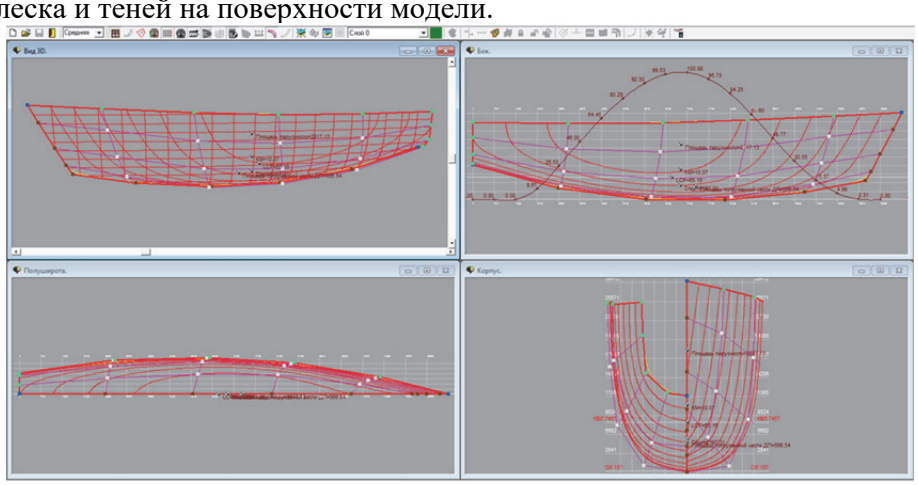


Рисунок 1 – Первоначальная форма поверхности корпуса судна

КОМПАС-3D. Формирование судовой поверхности в КОМПАС-3D выполняется по сете кривых двух направлений [4]. На основе вспомогательной геометрии строится каркас (шпангоуты, ватерлинии, батоксы), на который накладываются поверхности. Есть проверка непрерывности, с помощью которой проверяются поверхности на «сшивку». В настоящее время компанией АСКОН ведется доработка инструментария моделирования судовой поверхности для возможности получения гладкой и точной поверхности судна.

В ходе данного обзора рассмотрены CAD-системы, используемые для проектирования судовых поверхностей. Одни из этих программ универсальные с дополнительным необходимым инструментарием, а другие специализированы именно на создание судовой поверхности. Правильный выбор CAD-системы играет важную роль, так как на выходе должен получиться технологичный и качественный проект судна.Выбор CAD-системы в рамках вузовской подготовки во многом зависит от необходимых выходных данных и доступности программы. FreeShip бесплатный программный комплекс, что выделяет ее среди других. В программе достаточно удобный и понятный инструментарий. FreeShip подходит для учебных целей в рамках подготовки теоретического чертежа, расчетов гидростатики, остойчивости, сопротивления судна.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кабанова, Н. Н. Автоматизация процесса начального проектирования судна с помощью системы Aveva Marine / Н. Н. Кабанова // Вісник СевНТУ. – 2014. – № 146. – С. 162-165. – EDN SJIPMH.

2. NURBS и САПР: 30 лет вместе / Д. Ушаков // isicad.ru : информационный ресурс. – Раздел сайта «Статьи». – . – URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num =14924 (дата обращения 08.04.2025).

3. Попов, Е. В. Автоматизация моделирования поверхности судового корпуса / Е. В. Попов, И. Н. Шоркина // Омский научный вестник. – 2023. – № 4(188). – С. 13-21. – DOI 10.25206/1813-8225-2023-188-13-21. – EDN VNGVBE.

4. Лакизо, А. Интегральный процесс проектирования средствами 3D САПР на начальных этапах проекта / А. Лакизо, Р. Перез, М. Томан // Автоматизация проектирования. – 2015. – № 3. – С. 40-47. – . – URL: http://remmag.ru/upload_data/files/2015-03/SENER.pdf (дата обращения 08.04.2025).

5. Рыченкова, А. Ю. Исследование качества каркасной поверхности при моделировании корпуса судна в зависимости от типа линий каркаса в САПР Компас 3D / А. Ю. Рыченкова // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. – № 80. – С. 56-65. – DOI 10.37890/jwt.vi80.510. – EDN FWMQMW.

УДК 629.5.081

Лю Вэньмин, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Liu Wenming, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Каменских Ираида Витальевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kamenskikh Iraida Vitalievna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ КИТАЯ

CHINA'S SHIPBUILDING ENTERPRISES

Аннотация. В статье представлены основные судостроительные компании Китая, выпускающие продукцию мирового уровня. Дан общий обзор нескольких компаний, включая их роль в судостроительной отрасли, технические возможности для строительства крупно- и среднетоннажных судов. Приведены характеристики продукции в сфере технологических инноваций, защиты окружающей среды и энергосбережения.
Abstract. This article introduces the major shipbuilding companies in China that produce world-class products. It provides a general overview of several companies, including their roles in the shipbuilding industry, technical capabilities for building large and medium-tonnage ships, and product characteristics in the areas of technological innovation, environmental protection and energy conservation.
Ключевые слова: танкер, характеристики, судостроительные предприятия, Китай, технология.
Keywords: tanker, characteristics, shipbuilding companies, China, technology.

Транспортные суда китайского производства занимают одно из ведущих мест в мировом судоходстве. Судостроительная отрасль успешно продвигает на рынке свою продукцию благодаря значительному технологическому развитию, постоянному стремлению к инновациям и мощным возможностям промышленной синергии. Портфель заказов составляет более 40% от мирового объема строительства судов различных размеров и типов. За довольно короткий период времени были созданы современные судостроительные компа-

нии, вошедшие в крупный судостроительный конгломерат – Китайская государственная судостроительная корпорация (CSSC).

Шанхайская судостроительная компания «Вайгаоцяо». Компания Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding Co., Ltd., основанная в 1999 году, является системообразующим предприятием (CSSC Group) и судостроительной базой мирового уровня с передовыми мощностями и опытом в строительстве многих типов судов. Производственные мощности позволяют создавать различные по назначению и размерам суда, например, экологичный и безопасный для окружающей среды танкер VLCC «Huashan» дедвейтом 318 000 тонн [1] и танкер-продуктовоз класса Aframax «Ocean Detective» дедвейтом 114 000 тонн [2].

Танкер «Huashan» полностью соответствует требованиям Международной ассоциации классификационных обществ (IACS). Судно «Ocean Detective» – представитель новейшего поколения танкеров-продуктовозов типоразмера Aframax, который будет доставлен в греческий порт Тенамарис в 2025 году. Танкер прекрасно спроектирован, оснащен гидродинамическими энергосберегающими воздуховодами и вихреулавливающими ребрами, имеет экологически чистую энергетическую систему, которая соответствует строгим стандартам EEDI Phase III, требованиям IMO Tier III по выбросам и новейшим требованиям по выбросам оксида серы. Судно сочетает в себе защиту окружающей среды, энергосбережение, безопасность и экономичность и является главным продуктом массового производства верфи Waigaoqiao (портфель заказов более 20 судов). Кроме того, компания может строить сверхбольшие контейнеровозы вместимостью 24 000 TEU.

Компания известна рядом рекордов в области судостроения: строительство гигантских судов; высокая скорость строительства – год от закладки киля до сдачи судна; количество построенных судов в год – более 20.

Даляньская судостроительная компания. Dalian Shipbuilding Industry Company – одно из крупнейших судостроительных и судоремонтных предприятий Китайской государственной судостроительной корпорации с богатым историческим наследием (верфь заложена в 1898 г.). Предприятие располагает комплексом специализированных судостроительных и ремонтных доков, пирсов и передовым технологическим и производственным оборудованием, что позволяет строить несколько крупных судов одновременно. Предприятие выпускает танкеры, балкеры, контейнеровозы, морское инженерное оборудование и т. д. Что касается нефтяных танкеров, то предприятие строит танкеры разного тоннажа.

Среди известных – сверхбольшой нефтяной танкер «Ruifeng» дедвейтом 308 000 тонн, который является суперэнергосберегающим и экологически чистым типом судна седьмого поколения CSSC Group. А также танкер для сырой нефти «Xin Long Yang» дедвейтом 308 376 тонн, построенный для COSCO Shipping Energy, который является брендовым типом судна с большой конкурентоспособностью [3]. Оба танкера длиной 333 м и шириной 60 м. Кроме того, довольно известным является танкер для перевозки сырой нефти «Kaihe» (длина 243 м, ширина 44 м) дедвейтом 115 000 тонн, построенный дочерней компанией Shanhaiguan Shipbuilding Heavy Industry Co., Ltd. «Kaihe» – судно нового поколения экологичных и безопасных для окружающей среды танкеров для перевозки сырой нефти. Его главный двигатель и генератор оснащены оборудованием для десульфурации и денитрификации выхлопных газов, что соответствует строгим стандартам по контролю содержания выбросов. Он может перевозить более 800 000 баррелей сырой нефти при полной загрузке [4].

Судостроительная компания «Цзянсу Новая Эра». Судостроительная верфь Jiangsu New Era Shipyard расположена в районе «Золотого водного пути», в 10 километрах ниже моста Цзянъинь через реку Янцзы в городе Цзинцзян провинции Цзянсу. Это национальное высокотехнологичное предприятие с центром проектирования и НИОКР в Шанхае. Его основные показатели судостроения, на протяжении многих лет, входят в пятерку лучших в Китае и в десятку лучших в мире.

Компания добилась выдающихся достижений в области судостроения и выпускает различные типы судов, включая танкеры, балкеры, контейнеровозы, танкеры-химовозы и т. д. Среди них танкер «Aisopos» дедвейтом 115 600 тонн [5]. Это один из первых танкеров, оснащенных сертифицированной береговой системой электропитания, оборудованных ва-

логенератором, в соответствии с требованиями IMO EEDI Phase III, готовых к использованию СПГ-топлива, использующих ряд энергосберегающих технологий и прошедших сертификацию кибербезопасности Lloyd's Register. В строительстве судов на двухтопливных СПГ-двигателях и по количеству заказов Китай занимает первое место в мире.

Общие выводы

Верфи Китая имеют современный и мощный производственный комплекс. Используется блочная технология постройки крупнотоннажных судов в сухих доках. Верфи оборудованы плавучими, портальными и козловыми кранами различной грузоподъемности (до нескольких сотен тонн). Пролет козлового крана большой грузоподъемности позволяет обслуживать несколько одновременно строящихся судов в одном сухом доке (например, 5 судов длиной до 160 м или до 10 судов одновременно). Плавучие и портальные краны задействованы на достройке у причальной стенки сразу нескольких судов.

Благодаря мощной государственной поддержке (кредитование, субсидирование, страхование, лизинг и т.д.) создана полная и эффективная судостроительная система, обладающая рядом определяющих параметров, а именно:

- тщательно спланированные строительные базы вдоль побережья;
- судостроительные производства, оснащенные передовым оборудованием, поддерживающие высококачественное строительство;
- отлаженная организационно-производственная структура предприятий, существенно сокращающая срок постройки судна;
- наличие национальных технологических центров предприятия, осваивающих ряд ключевых технологий;
- тесное сотрудничество предприятий с университетами в области промышленных и технологических инноваций, экологически чистых и интеллектуальных судовых технологий.

Китайские судостроители имеют возможность заключать соглашения о патентной технологии и о технологии проектирования с иностранными судостроительными компаниями, сокращая тем самым, время разработки проектов и технологи постройки современных судов нового типа и размера (например, на строительство крупных газовозов). С 2000 года объемы судостроительного производства выросли в 17 раз. Количество верфей в Китае различных по оснащению и мощности превысило 3 000.

Китайская судостроительная отрасль продолжает повышать качество продукции, эффективность производства и международную конкурентоспособность используя географические, промышленные и кадровые преимущества каждой строительной площадки, опираясь на производственные компании с высокой конкурентоспособностью, а также используя передовое оборудование и передовые судостроительные технологии, и вносит значительный вклад в развитие мировой судоходной отрасли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mercuria расширяет свой заказ на новые танкеры в Китае // iMarine : информационный сайт о судостроительной отрасли в Китае. – Верфи, Китай, Танкеры, Порты и логистика. – URL: https://www.imarinenews.com/14985.html (дата обращения 03.03.2025).

2. Цуй Ся Ву Тяньбай. Это станет хитом в 2025 году! «Океанский детектив» официально поставлен / Цуй Ся Ву Тяньбай // CCTV News. – URL: https://news.cctv.com/2025/01/03/ARTIUKS7vIBQbdo6ryg9kZJB250103.shtml (дата обращения 03.03.2025).

3. Ян Лифан. Первый 300 000-тонный танкер пришвартовался в Guangdong Petrochemical / Ян Лифан, Лю Цзялян, Лу Тяньхуэй // China Petroleum News. – URL: http://news.cnpc.com.cn/system/2022/10/11/030082014.shtml (дата обращения 03.03.2025).

4. В Циньхуандао состоялась церемония передачи и переименования судна China Merchants Shipping «Кайхэ» // IAA «PortNews» : информационно-аналитическое агентство PortNews. - Главная, Новости морской отрасли, PortNews. – URL: https://en.portnews.ru/news/368516/ (дата обращения 03.03.2025).

5. AISOPOS Танкер для перевозки сырой нефти/Продуктов // Capital Ship Management Corp. – Раздел сайта «Наш флот», подраздел «Танкеры». – URL:https://www.capitalship.gr/our-fleet/tankers/121-aisopos (дата обращения 03.03.2025).

УДК 629.01
Мананников Дмитрий Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Manannikov Dmitry Mikhailovich, student, Komsomolsk- na-Amure State University
Баранов Евгений Витальевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Baranov Evgeny Vitalievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ОСОБЕННОСТИ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА В СОВРЕМЕННОМ ГИБРИДНОМ АВТОМОБИЛЕ

FEATURES OF FUEL ECONOMY IN MODERN A HYBRID CAR

Аннотация. Бензиновые автомобили последних лет выпуска, несмотря на большое количество современных технологий и открытий, имеют относительно низкий КПД, в районе 20-40%. Это обуславливается рядом факторов, таких как высокие гидравлические потери на всасывания при работе на низких оборотах, жесткие экологические требования, приводящие к работе в области относительно высоких расходов топлива, высокие потери теплоты с охлаждением цилиндров и с уходящими газами и другое. В статье рассматриваются решения, повышающие энергоэффективность автотранспорта, и заключающиеся в организации совместной работы бензинового двигателя, генератора, электродвигателя и аккумулятора. Раскрыты важные нюансы работы гибридных автомобилей, которые отличаются от их бензиновых «собратьев».
Abstract. Gasoline cars of recent years, despite a large number of modern technologies and discoveries, have a relatively low efficiency, in the region of 20-40%. This is due to a number of factors, such as high hydraulic suction losses when operating at low RPM, stringent environmental requirements that lead to relatively high fuel consumption, high heat losses with cylinder cooling and exhaust gases, and others. The article discusses solutions that increase the energy efficiency of vehicles, and consist in organizing the joint operation of a gasoline engine, generator, electric motor and battery. The important nuances of hybrid cars, which differ from their gasoline counterparts, are revealed.
Ключевые слова: автомобиль, энергосбережение, экономия топлива, гибридная установка.
Keywords: car, energy saving, fuel economy, hybrid installation

В настоящее время человек очень зависит от одного устройства, позволяющего ему быстро перемещаться из одного места в другое. Это устройство называется автомобиль, который для своей работы требует значительного количества энергии. Для подавляющего количества автомобилей используется энергия бензина или дизельного топлива. В общем энергобалансе отдельно взятой страны миллионы автомобилей потребляют около 10-30% от суммарного расхода всех видов топлива. Но КПД большинства бензиновых автомобилей остается на весьма невысоком уровне и этому способствуют несколько причин, указанных ниже. Современные экологические стандарты (Евро-5, Post NLT, EPA10 и другие) требуют от автомобилей не превышать количество выбросов вредных веществ в выхлопных газах, поэтому рабочий процесс в двигателе настраивается не только на максимальную мощность и КПД, но и на соблюдение экологических норм.

Проблема глобального потепления заставляет вносить большие изменения в конструкцию автомобилей, в частности, стараются создавать силовые системы с минимальными выбросами CO_2.

В зависимости от скорости движения, дорожных условий, ускорения и возможностей трансмиссии двигатель автомобиля часто работает в режиме средних и высоких расходов топлива.

Сочетание особенностей работы более экономичных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), работающих по циклу Аткинсона, электродвигателей, накопителей энергии и специальной конструкции трансмиссии, оперирующей механическими и электрическими потоками энергии, а также повышающей общую гибкость работы системы, в итоге позволит конструировать гибридные автомобили со значительно меньшими расходами топлива.

На текущий момент в мире автомобили, использующие в качестве силовой установки не только двигатели внутреннего сгорания, но и их комбинацию с электрическими двигателями, генераторами и накопителями энергии, а также с электрохимическими генераторами можно классифицировать в следующие группы.

Электромобили (BEV), в которых вся энергия храниться в аккумуляторе высокой емкости, а при движении расходуется на привод электродвигателя.

Гибридные автомобили (HEV), использующие ДВС для преобразования химической энергии топлива в механическую и использующие ее для движения и/или конвертации ее в электрическую для дальнейшего расхода ее на движение и/или накопление ее в аккумуляторе малой емкости, с последующим использованием. Основной объем энергии получается при сжигании бензина, так как емкости аккумулятора, дающего энергию электродвигателю, хватает только для движения на ограниченное расстояние и/или с ограниченной скоростью. Подключаемые гибридные автомобили (PHEV), отличающиеся от предыдущих повышенной емкостью аккумулятора в сочетании с большой мощностью электромоторов. Для поездок на небольшие расстояния может использоваться только электрическая часть силовой установки, а после уменьшения заряда аккумулятора, автомобиль может двигаться за счет энергии топлива с помощью ДВС.

Электромобили (FCEV), использующие топливные элементы (электрохимические генераторы) позволяющие напрямую конвертировать химическую энергию топлива (например, водорода) в электрическую энергию.

Каждый вид гибридных автомобилей имеет свои достоинства по отношению к другим и свои индивидуальные недостатки. Например, ряд зарубежных стран считают наиболее перспективным применение именно электромобилей, основываясь на их нулевых выбросах углекислого газа и вредных веществ и возможностях использования емкости их аккумуляторов в общей энергосистеме страны. При этом для улучшения экологических характеристик всей энергосистемы предполагается использовать для их зарядки в основном энергию, получаемую от нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (например, ветра и солнца). Но одновременно с этим энергетическая плотность накопителей энергии электромобилей не может сравниться с энергетической плотностью бензина, что серьезно ограничивает запас хода автомобиля, а высокая стоимость и относительно малое количество циклов зарядки-разрядки аккумуляторов увеличивает начальную стоимость электромобилей и повышает расходы на их эксплуатацию. Если учесть особенности климата, большие расстояния и наличие дешевого углеводородного топлива, то в России больший потенциал к распространению имеют гибридные автомобили (HEV). В качестве особенностей их эксплуатации можно отметить следующие:

- значительно более низкий расход топлива и уменьшение вредных выбросов по сравнению с обычными автомобилями за счет другого принципа работы и некоторых особенностей конструкции;

- возможность совершать длительные поездки за счет заправки бензином без привязки к специализированным станциям подзарядки;

- низкие зимние температуры, снижающие емкость аккумулятора и увеличивающие расход энергии на прогрев, не так сильно будут ограничивать эксплуатацию гибридов (HEV), как их «собратьев» (PHEV и BEV);

- снижение стоимости и массы автомобиля за счет небольшого аккумулятора по сравнению с другими электромобилями (PHEV и BEV), а также увеличение относительного срока эксплуатации аккумулятора.

Рассмотрим принципы работы двигателя, трансмиссии и электрической части гибридного автомобиля, которые позволяют значительно увеличить экономию топлива по сравнению с обычными бензиновыми автомобилями. Сейчас гибридные автомобили (HEV) разделяются по принципу передачи крутящего момента на ведущие колеса и по отношению мощностей электродвигателей и ДВС на несколько подтипов. Это последовательные, параллельные и последовательно-параллельные гибриды, а также так называемые «мягкие» гибриды. Работа двигателя в гибридном автомобиле по сравнению с его бензиновым аналогом позволяет ему работать с большим КПД, что часто достигается путем работы по циклу Аткинсона вместо цикла Отто. В ДВС, работающем по циклу Отто, при работе на малых и средних оборотах возрастают насосные потери. Это означает, что при впуске свежей смеси в коллекторе создается разрежение и приходится преодолевать дополнительное сопротивление, при этом наполнение цилиндра свежей смесью происходит при давлении ниже атмосферного. Аналогично присутствуют насосные потери при вытеснении дымовых газов поршнем из цилиндра. Конструкция и принцип действия двигателя, работающего по циклу Аткинсона, позволяют уменьшить эти потери и реализовать увеличенную степень расширения отработавших газов в цилиндре, что позволяет в большей мере использовать энергию топлива и увеличивает его КПД по сравнению с циклом Отто. Однако, цикл Аткинсона имеет известный недостаток при работе на небольших оборотах, заключающийся в пониженном крутящем моменте двигателя, что усложняет эксплуатацию автомобиля с одним только ДВС. Но в случае использования гибридной установки появляется еще один источник создания крутящего момента – электродвигатель. Поэтому, работая в паре, в случае, когда ДВС выдает невысокий крутящий момент, но обеспечивает большую экономичность, электродвигатель повышает суммарный крутящий момент, используя энергию из аккумулятора. Либо все силовая установка (как, например, в параллельно-последовательной схеме) будет работать в режиме коробки передач с высоким значением передаточного отношения. Совместная работа ДВС, электродвигателя, трансмиссии и генератора позволяет эксплуатировать двигатель вне зависимости от дорожных условий, скорости движения и желания водителя ускориться всегда с высокими экономическими характеристиками. Гибридные автомобили часто проектируют для работы с маловязким маслом, что позволяет двигателю проще запускаться в сильные морозы и понижает коэффициент сопротивления трущихся пар. Менее вязкое масло облегчает работу двигателя при неполном прогреве и в условиях работы частого включения и выключения. Низкая вязкость масла уменьшает температуру прогрева двигателя и время работы на холостых оборотах, тем самым экономя топливные ресурсы. При движении автомобиля массой m = 1500 кг со скоростью v = 60 км/ч, последний обладает кинетической энергией, равной 208 333 Дж. Если пересчитать эту энергию движения в массу топлива, необходимую для разгона до этой скорости, принимая суммарный КПД бензинового двигателя и трансмиссии, равным 0,25, а низшую теплоту сгорания бензина, равную 33 МДж/л, то получится, что при каждом торможении с 60 км/ч до нуля автомобиль теряет энергию, эквивалентную 25 мл бензина. Теряемый в результате торможения поток кинетической энергии перейдет в тепловую энергию тормозного устройства, автошины, дороги. В результате при движении в городе автомобиль с бензиновым двигателем будет постоянно набирать скорость и тормозить. При этом каждый раз энергия для движения генерируется ДВС из химической энергии бензина, а затем переходит в тепловую энергию компонентов автомобиля и окружающей среды, т.е. бесполезно рассеивается. Гибридные автомобили обладают свойством рекуперации энергии. При торможении гибридного автомобиля электродвигатель переходит в режим генератора и, через элементы трансмиссии, кинетическая энергия движения автомобиля, поступая к генератору, трансформируется в электрическую и затем передается в накопитель энергии (аккумулятор или суперконденсатор). В дальнейшем эта энергия используется при наборе скорости автомобиля и для работы разнообразного вспомогательного оборудования. Экономия энергии таким способом будет более значительна при более частом ускорении и торможении автомобиля, что характерно для городского режима движения. Следующая особенность работы гибридного автомобиля по сравнению с бензиновыми аналогами заключается в постоянном отключении ДВС, что позволяет экономить значительное количество энергоре-

сурсов. Это возможно благодаря накопителю энергии большой ёмкости, который будет снабжать электроэнергией вспомогательное оборудования автомобиля во время отключения ДВС. Также конструкция трансмиссии и наличие электродвигателей позволяет большинству конструкций гибридных автомобилей набирать и поддерживать невысокие скорости движения за счет накопленной ранее энергии в аккумуляторе. Учитывая вышеизложенные моменты, можно с уверенностью сказать, что гибридные автомобили, обладая значительным количество достоинств по сравнению с чисто бензиновыми аналогами в ближайшем будущем, постепенно заменят их. При этом для России, учитывая географические и климатические особенности, а также развитие инфраструктуры, более предпочтительным типом автомобилей являются гибриды типа HEV.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гусева, М. Э. Автономное транспортное средство на топливных элементах / М. Э. Гусева, К. И. Куликов, Н. И. Щуров // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов: в 9 ч. – Ч. 5 – (Новосибирск, 2019). – Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного технического университета, 2019. – С. 242–246. - EDN: ZAXZIY.

2. Латипов, С. Т. Накопители электроэнергии как средство предотвращения нарушений электроснабжения / С. Т. Латипов // Молодой ученый. – 2017. – № 16 (50) (180). – С. 187–189. - EDN: YLNVJB.

3. Петров, А. П. Конструкция и проектирование гибридных автомобилей: учебное пособие / А. П. Петров. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2024. – 168 с. - EDN: GGLMUM.

УДК 533.6.04

Митрофанов Никита Александрович, студент, Воронежский государственный технический университет

Mitrofanov Nikita Alexandrovich, student, Voronezh State Technical University

Кириакиди Сергей Константинович, кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет

Kiriakidi Sergey Konstantinovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ КРЫЛА СКВП ОТ ВЕЛИЧИНЫ И УГЛА ПОВОРОТА СТВОРКИ НИЖНЕЙ СДВИЖНОЙ ПАНЕЛИ ЗАКРЫЛКА ПРИ ПОСАДКЕ

THE DEPENDENCE OF THE COEFFICIENT OF DRAG AND LIFTING FORCE OF THE WING STLA THE MAGNITUDE AND ANGLE OF ROTATION OF THE FLAP OF THE LOWER SLIDING FLAP PANEL DURING LANDING

Аннотация. Выполнены исследования по оценке влияния величины внутренней створки поворотной хвостовой части подвижной панели закрылка крыла СКВП, а также ее угла установки на коэффициент подъёмной силы и коэффициент сопротивления при посадке ЛА.

Abstract. Studies have been performed to evaluate the effect of the inner flap of the rotary tail section of the movable flap panel of the wing of STLA, as well as its installation angle on the coefficient of lift and the coefficient of drag during landing of the aircraft.

Ключевые слова: крыло самолёта, двухщелевой закрылок, нижняя подвижная панель закрылка, поворотная хвостовая часть подвижной панели, внутренняя створка хвостовой части, коэффициент подъёмной силы, коэффициент сопротивления при посадке.

Key words: the wing of the aircraft, the double-slit flap, the lower movable flap panel, the pivoting tail section of the movable panel, the inner flap of the tail section, the coefficient of lift, the coefficient of resistance during landing.

Одним из важных параметров нового воздушного судна является длина пробега при посадке. Особенно актуально это при базировании ЛА на авианосце, в других случаях высокий уровень ВПХ обеспечивает возможность в эксплуатации использования коротких ВПП, что обеспечивает возможность базирования ЛА в больших и малых населенных пунктах. Высокий уровень ВПХ прежде всего зависит от эффективной механизации летательного аппарата.

Цель статьи – рассмотрение конструктивна-аэродинамических особенностей двухщелевого закрылка, обеспечивающего значительную подъёмную силу при посадке, что соответственно приводит к снижению посадочной скорости ЛА, и, помимо уменьшения потребной длины ВПП, повышает безопасность и простоту пилотирования на данном режиме полёта.

Представлен двухщелевой закрылок, состоящий из основного звена и дефлектора, содержащий подвижную жёсткую панель, установленную по направляющим на нижней его поверхности. За счёт соответствующего привода данная панель имеет возможность передвижения взад по потоку за заднюю кромку основного звена закрылка. Данное передвижение обеспечивает увеличение площади и кривизны крыла на взлетно-посадочных режимах. А также, панель содержит поворотную хвостовую часть, которая с учетом кинематики управления, развёрнута на некоторый угол относительно нейтрального положения на режимах взлёта и посадки, дополнительно увеличивая кривизну крыла. При этом, хвостовая часть панели имеет внутреннюю створку, при повороте которой сформирована аэродинамическая дополнительная щель закрылка, обеспечивающая увеличение скорости потока над закрылком и, соответственно, циркуляции скорости вокруг крыла. На крейсерском режиме полёта самолёта подвижная панель, находящаяся на нижней поверхности закрылка, перекрывает входной аэродинамический канал между дефлектором и основным звеном.

Постановка задачи.

Для данного закрылка необходимо рассмотреть влияние длины и угла установки внутренней створки хвостовой части подвижной панели на коэффициент подъёмной силы крыла СКВП при посадке.

Исходные данные:

$v = 40$ м/с – скорость летательного аппарата при посадке;

$\alpha_{пос} = 12^{o}$– угол атаки при посадке;

$\delta_{з} = 44^{o}$– угол отклонения закрылка;

$\overline{b_{хв}} = 0{,}216$ – относительная длина хвостовой части панели;

$\delta_{хв} = 41^{o}$ – угол отклонения хвостовой части панели;

$\overline{b_{ств}} = 0{,}072; 0{,}097; 0{,}122$ – относительная длина створки хвостовой части панели;

$\delta_{ств} = 20^{o};\ 25^{o};\ 36^{o};\ 40^{o};\ 44^{o}$ – угол отклонения створки.

Расчёт коэффициентов сопротивления и подъёмной силы крыла проводится на основе численного эксперимента с использованием аэродинамического расчетного пакета.

В результате расчётов получены следующие параметры, таблицы 1 и 2, рисунки 1 и 2.

Таблица 1 – Значения коэффициента подъёмной силы

	Cy				
$\overline{b_{ств}}$	$\delta_{ств} = 20^{o}$	$\delta_{ств} = 25^{o}$	$\delta_{ств} = 36^{o}$	$\delta_{ств} = 40^{o}$	$\delta_{ств} = 44^{o}$
0,072	2,870	2,851	2,791	2,735	2,715
0,097	2,863	2,840	2,752	2,693	2,661
0,122	2,855	2,816	2,723	2,671	2,630

Таблица 2 – Значения коэффициента сопротивления

	Cx				
$\overline{b_{ств}}$	$\delta_{ств} = 20^o$	$\delta_{ств} = 25^o$	$\delta_{ств} = 36^o$	$\delta_{ств} = 40^o$	$\delta_{ств} = 44^o$
0,072	1,141	1,119	1,019	0,998	0,976
0,097	1,120	1,094	0,9701	0,930	0,895
0,122	1,094	1,048	0,910	0,867	0,824

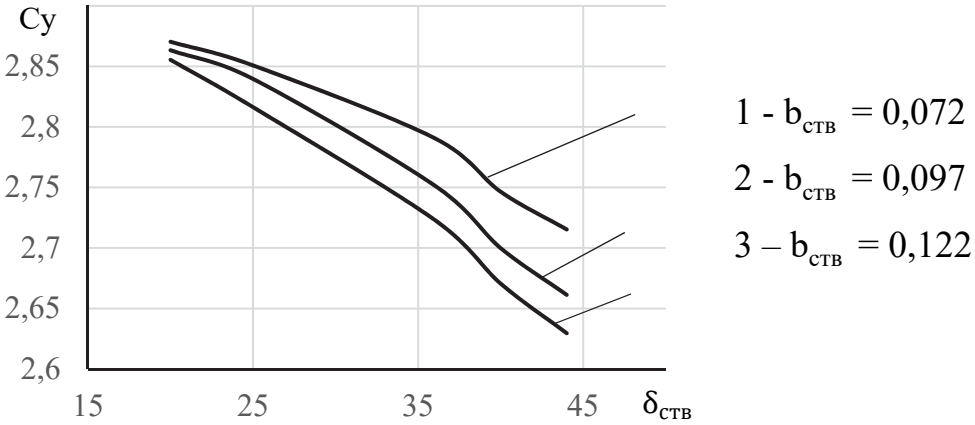


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента подъемной силы крыла СКВП от угла установки и длины створки хвостовой части подвижной панели при посадке

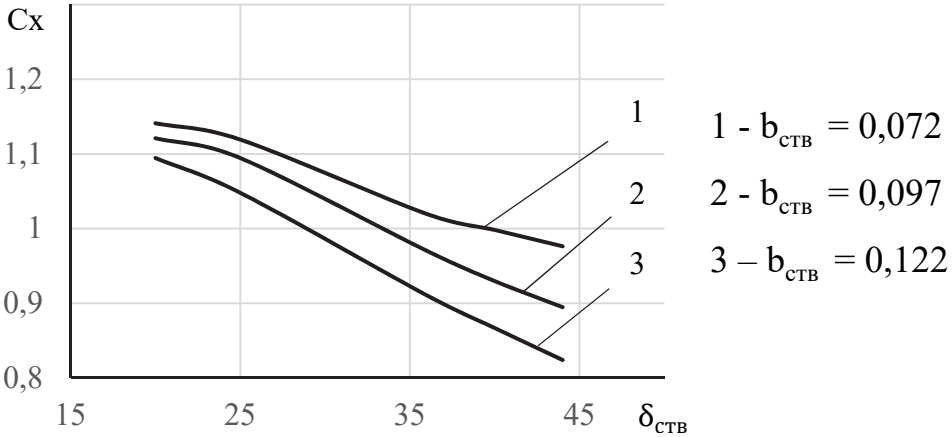


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента сопротивления крыла СКВП от длины и угла установки створки хвостовой части подвижной панели при посадке

На рисунке 3 показано распределение давления вокруг профиля крыла посадочной конфигурации при $\delta_{ств} = 20^o$ и $\overline{b_{ств}} = 0,072$.

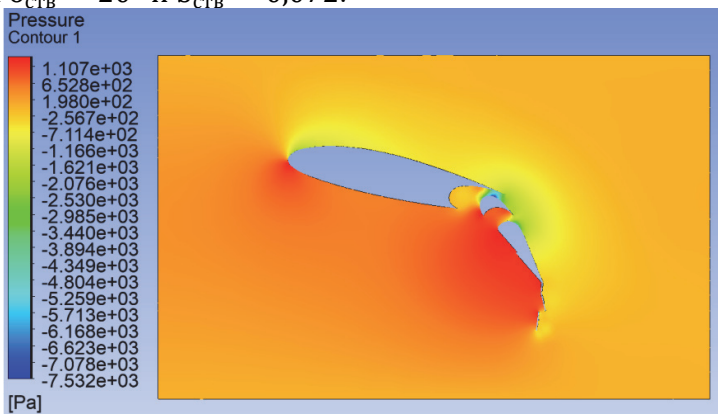


Рисунок 3 – Распределение давления вокруг профиля крыла посадочной конфигурации при $\delta_{ств} = 20^o$ и $\overline{b_{ств}} = 0,072$

На основании результатов работы следует вывод – внутренние ство-рки хвостовой части подвижной панели закрылка с меньшей длиной более эффективны.

При изменении угла отклонения створки от $\delta_{ств} = 44^{o}$ до $\delta_{ств} = 20^{o}$ коэффициент подъёмной силы крыла СКВП при посадке возрастает от $C_y = 2{,}715$ до $C_y = 2{,}870$, при увеличении коэффициента сопротивления от $C_x = 0{,}976$ до $C_x = 1{,}141$.

Максимальное значение коэффициента подъёмной силы крыла СКВП $C_y = 2{,}870$ соответствует следующим параметрам внутренней ство-рки хвостовой части подвижной панели закрылка $\overline{b_{ств}} = 0{,}072$ и $\delta_{ств} = 20^{o}$.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Мхитарян, А. М. Аэродинамика: учебник / А. М. Мхитарян – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 448 с.

Остославский, И. В. Аэродинамика самолёта: учебник / И. В. Остославский – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1957. – 561 с.

Мартынов, А. К. Экспериментальная аэродинамика: учебник / А. К. Мартынов – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Оборонгиз, 1958. – 346 с.

УДК 533.6.04

Митрофанов Никита Александрович, студент, Воронежский государственный технический университет

Mitrofanov Nikita Alexandrovich, student, Voronezh State Technical University

Кириакиди Сергей Константинович, кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет

Kiriakidi Sergey Konstantinovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОВОРОТНОЙ ХВОСТОВОЙ ЧАСТИ ПОДВИЖНОЙ ПАНЕЛИ ЗАКРЫЛКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ ОТКЛОНЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ЩИТКА НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ КРЫЛА СКВП ПРИ ВЗЛЁТЕ

THE EFFECT OF THE POSITION OF THE ROTATING TAIL SECTION OF THE MOVABLE FLAP PANEL AT DIFFERENT ANGLES OF DEFLECTION OF THE INNER FLAP ON THE COEFFICIENT OF LIFTING FORCE OF THE WING OF STLA TAKEOFF

Аннотация. Рассмотрены аэродинамические параметры механизированного крыла СКВП с двухщелевым закрылком, оснащенным нижней подвижной панелью с поворотной хвостовой частью, имеющий внутренний отклоняемый щиток при различных углах установки поворотной хвостовой части панели и углах установки отклоняемого щитка при взлёте ЛА.

Abstract. The aerodynamic parameters of a mechanized SKVP wing with a double-slit flap equipped with a lower movable panel with a rotating tail section having an internal deflectable flap at different angles of installation of the rotating tail section of the panel and the angles of installation of the deflectable flap during aircraft takeoff are considered.

Ключевые слова: крыло, щелевой закрылок, поворотная хвостовая часть подвижной панели с отклоняемым щитком, углы отклонения хвостовой части панели, углы отклонения щитка, коэффициент подъёмной силы крыла при взлёте.

Key words: wing, slotted flap, pivoting tail section of a movable panel with a deflected flap, angles of deflection of the tail section of the panel, angles of deflection of the flap, coefficient of wing lift during takeoff.

Взлёт – один из ответственных этапов полёта летательных аппаратов. В рамках концепции самолёта разработчиками, помимо других, решаются вопросы обеспечения минимальной скорости отрыва, что особенно важно при оценках возможности взлёта с одним

отказавшим двигателем, а также обеспечения короткого взлёта в штатной ситуации. Возможность короткого взлёта при минимальной скорости отрыва обеспечивает летательному аппарату преимущества в части использования не только в сети аэродромного базирования, но и на любых ровных площадях, пригодных для базирования, что имеет большое значение, например, для лёгких летательных аппаратов, эксплуатируемых в условии крайнего севера, Дальнего Востока, а также в районах с ограниченной степенью доступности в весенне-осенний период времени.

Поэтому важным моментом при проектировании нового воздушного судна является использование эффективной механизации его крыла, обеспечивающей значительную подъёмную силу на режимах взлёта и посадки.

Целью работы является изучение механизации крыла СКВП, включающей двухщелевые закрылки с рядом особенностей.

Представлена механизация крыла самолёта короткого взлёта и посадки, состоящая из двухщелевых закрылков, установленных на правом и левом полукрыле ЛА. Каждый закрылок оборудован жёсткой панелью перемещения, которая установлена в направляющих на нижней его поверхности и имеет возможность смещаться от нейтрального положения (крейсерский режим полёта), при котором данная панель вписана в контур крыла, и соответственно, профиль крыла до выпущенного положения. В случае выпущенного в поток положения (с использованием привода) панель выходит за габариты крыла, увеличивая его площадь и кривизну. При этом панель перемещения (подвижная панель) имеет поворотную хвостовую часть, отклоняющуюся на некоторый угол от нейтрального положения на режимах взлёта и посадки, дополнительно увеличивая кривизну крыла. Для увеличения циркуляции скорости вокруг крыла, хвостовая часть панели в средней части содержит внутренний щиток, имеющий возможность поворота на некоторый угол, обеспечивая увеличение скорости потока над крылом и закрылком, тем самым обеспечивая увеличение циркуляции скорости вокруг крыла. Для оценки эффективности механизации с критерием «максимум коэффициента подъёмной силы» была изготовлена электронная модель отсека механизированного крыла с указанными выше особенностями и выполнены расчёты с использованием аэродинамического расчетного пакета по определению коэффициента подъёмной силы.

Параметры модели:

$v = 40$ м/с – скорость потока;

$\alpha_{взл} = 7^{o}$– угол атаки крыла при взлёте;

$\overline{b_{хв}} = 0{,}216$ – относительная длина хвостовой части подвижной панели.

$\overline{b_{щ}} = 0{,}072$ – относительная длина внутреннего щитка хвостовой части панели;

$\delta_{хв} = 37^{o};\ 41^{o};\ 44^{o}$– углы отклонения хвостовой части панели;

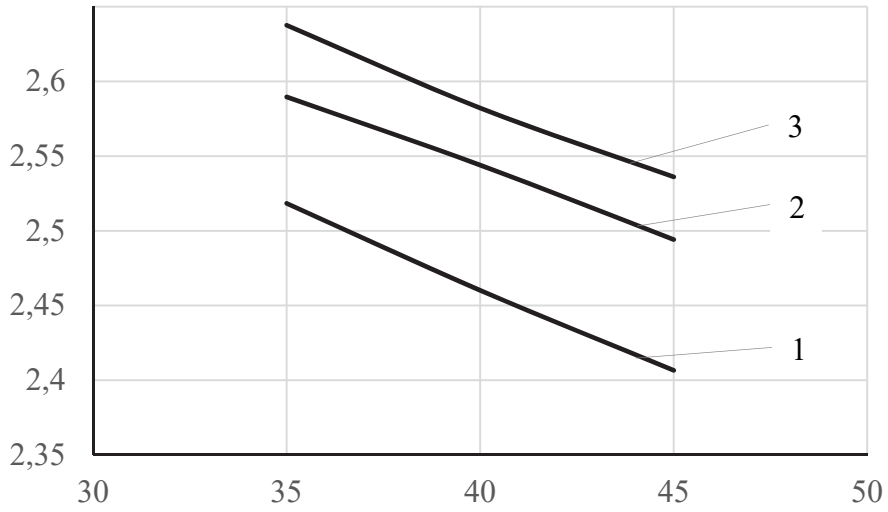
$\delta_{щ} = 35^{o};\ 40^{o};\ 45^{o}$ – углы отклонения внутреннего щитка панели.

В результате проведенных расчётов получены следующие данные (таблица 1).

Таблица 1 – Значения коэффициента подъёмной силы крыла при различных пара метрах закрылка

$\delta_{хв}$	Cy		
	$\delta_{щ} = 35^{o}$	$\delta_{щ} = 40^{o}$	$\delta_{щ} = 45^{o}$
37^{o};	2,518	2,460	2,407
41^{o};	2,590	2,544	2,494
44^{o};	2,638	2,582	2,536

На рисунке 1 представлен график зависимости коэффициента подъёмной силы крыла СКВП при взлёте с двухщелевым закрылком, оснащённым подвижной панелью с поворотной хвостовой частью, содержащей внутренний отклоняемый щиток.



1 – $\delta_{хв} = 37$;
2 – $\delta_{хв} = 41$;
3 – $\delta_{хв} = 44$;

Рисунок 1 – Зависимость коэффициента подъёмной силы крыла СКВП при взлёте с двухщелевым закрылком, оснащённым подвижной панелью с по$\delta_{щ}$ной хвостовой частью, содержащей внутренний отклоняемый щиток

На рисунке 2 представлена структура распределения давлений вокруг механизированного крыла СКВП при $\delta_{щ} = 35^{o};\ \delta_{хв} = 44^{o}$.

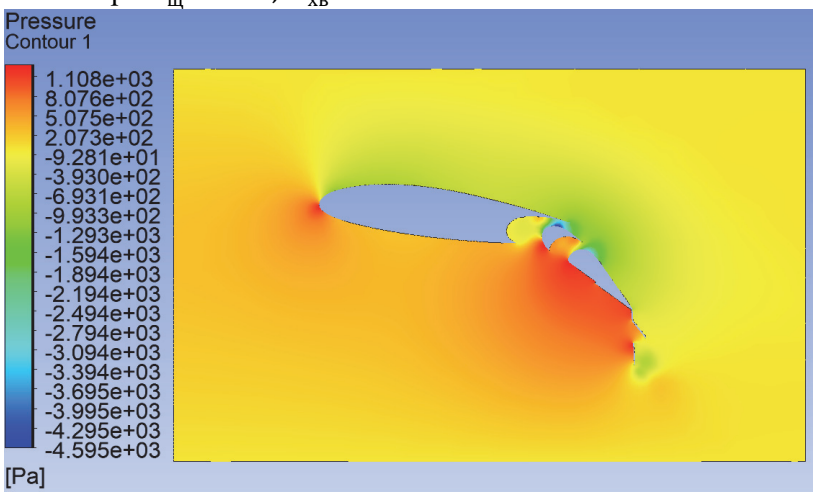


Рисунок 3 – Распределение давления вокруг профиля крыла посадочной конфигурации при $\delta_{хв} = 44^{o};\ \delta_{щ} = 35^{o};$

Полученные расчётные данные позволяют сделать вывод о аэродинамических параметрах рассмотренного крыла СКВП с двухщелевым закрылком, оснащенным подвижной панелью с поворотной хвостовой частью, имеющей внутренний щиток.

При уменьшении угла установки щитка от $\delta_{щ} = 45^{o}$ до $\delta_{щ} = 35^{o}$ коэффициент подъёмной силы крыла C_y увеличивается от $C_y = 2{,}407$ до $C_y = 2{,}518$ при $\delta_{хв} = 37^{o}$.

С изменением угла установки щитка от $\delta_{щ} = 45^{o}$ до $\delta_{щ} = 35^{o}$ $\delta_{хв} = 41^{o}$ C_y увеличивается от $C_y = 2{,}494$ до $C_y = 2{,}590$.

При изменением угла установки щитка от $\delta_{щ} = 45^{o}$ до $\delta_{щ} = 35^{o}$ $\delta_{хв} = 44^{o}$ C_y изменяется от $C_y = 2{,}536$ до $C_y = 2{,}638$.

Из рассмотренных положений щитка и хвостовой части подвижной панели наиболее эффективным, максимум подъёмной силы $C_y = 2{,}638$, является положение со следующими параметрами $\delta_{хв} = 44^{o}$ и $\delta_{щ} = 35^{o}$.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мхитарян, А. М. Аэродинамика: учебник / А. М. Мхитарян – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 448 с.

2. Остославский, И. В. Аэродинамика самолёта: учебник / И. В. Остославский – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1957. – 561 с.
3. Мартынов, А. К. Экспериментальная аэродинамика: учебник / А. К. Мартынов – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Оборонгиз, 1958. – 346 с.

УДК 621.165.53
Мясников Александр Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Myasnikov Aleksandr Alekseevich, student of Komsomolsk-na-Amure State University
Попов Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Popov Alexey Yurievich, candidate of engineering sciences, associate professor of the department «Heat power plants», Komsomolsk-na-Amure State University

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПАРЦИАЛЬНОСТИ НА КПД ЦИЛИНДРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ Т-100-130

THE EFFECT OF THE DEGREE OF PARTIALITY ON THE EFFICIENCY OF THE HIGH-PRESSURE CYLINDER OF THE T-100-130 STEAM TURBINE

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы выполнения расчетов тепловых процессов и конструктивных параметров элементов проточной части цилиндра высокого давления паровой турбины мощностью 100 МВт. В качестве параметра, влияющего на эффективность работы цилиндра паровой турбины, выбрана степень парциальности подвода пара. В работе приведены основные результаты расчётов.
Abstract. The paper considers the issues of performing calculations of thermal processes and design parameters of the elements of the flow part of a high-pressure cylinder of a steam turbine with a capacity of 100 MW. The degree of steam supply partiality is chosen as a parameter affecting the efficiency of the steam turbine cylinder. The paper presents the main calculation results.
Ключевые слова: паровая турбина, цилиндр высокого давления, эффективность цилиндра паровой турбины, степень парциальности.
Keywords: steam turbine, high pressure cylinder, efficiency of steam turbine cylinder, degree of partiality.

На первом этапе проектирования проточной части цилиндра паровой турбины ставятся задачи выбора значений конструктивных и газодинамических параметров, которые влияют на эффективность и массогабаритные показатели цилиндров.

В работе рассмотрена задача проектирования проточной части цилиндра высокого давления паровой турбины. Электрическая мощность – 100 МВт. В качестве параметра, влияющего на эффективность, выбрана степень парциальности цилиндра паровой турбины. Инструментом решения задачи выбран программный комплекс AxSTREAM, разработанный компанией SoftInWay Inc [1]. Данный программный продукт представляет собой систему проектирования проточной части турбомашин.

При расчете конструкции программный пакет AxSTREAM позволяет в соответствии с особенностями рабочего тела, исходя из его параметров на входе и выходе отсека, и учитывая заданные ограничения, выполнить тепловой и конструктивный расчеты элементов ступеней на корневом, среднем и периферийном диаметрах (сечениях).

Степень парциальности определяет долю подвода пара к первой ступени цилиндра турбины. Величина степени парциальности, равная единице, соответствует подводу пара по всей окружности соплового аппарата. При меньших значениях этого параметра пар подаётся частично (порционно). При проектировании цилиндра высокого давления паровой турбины выбор значения этого параметра влияет на расчётную высоту сопловых лопаток первой ступени, эффективность этой ступени (концевые потери энергии, потери на выколачивание, вентиляционные) и на массогабаритные показатели всего цилиндра. С целью

исследования влияния степени парциальности на КПД цилиндра паровой турбины принят цилиндр высокого давления паровой турбины Т-100-130 [2].

Исходные данные, принятые для расчета проточной части цилиндра, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

Название	Значение	Размерность
Начальное давление пара	12,8	МПа
Начальная температура пара	555	°С
Давление пара за цилиндром	3,32	МПа
Расход пара	441	т/ч
Корневой диаметр цилиндра	850	мм
Угол выхода пара из сопл первой ступени	15	°
Количество ступеней цилиндра	8	шт.
Степень реактивности у корня лопаток	0,1	–
Скоростная характеристика	0,4	–
Степень парциальности	0,5…1,0	–

Расчёт внутреннего КПД цилиндра проводился по статическим параметрам пара, расчётная модель свойств воды и водяного пара принята по IAPWS IF97 [3].

В результате проектирования в программном комплексе AxSTREAM были проведены расчеты проточной части цилиндра высокого давления паровой турбины мощностью 100 МВт в диапазоне изменения степени парциальности от 0,5 до 1,0. Были получены результаты расчёта тепловых и геометрических параметров цилиндра на трёх сечениях проточной части – корневом, среднем и периферийном.

Влияние степени парциальности на внутренний КПД представлено на рисунке 1, на высоту лопаток первой ступени – на рисунке 2.

На рисунке 3 приведен процесс расширения пара в цилиндре на среднем диаметре в координатах I-S.

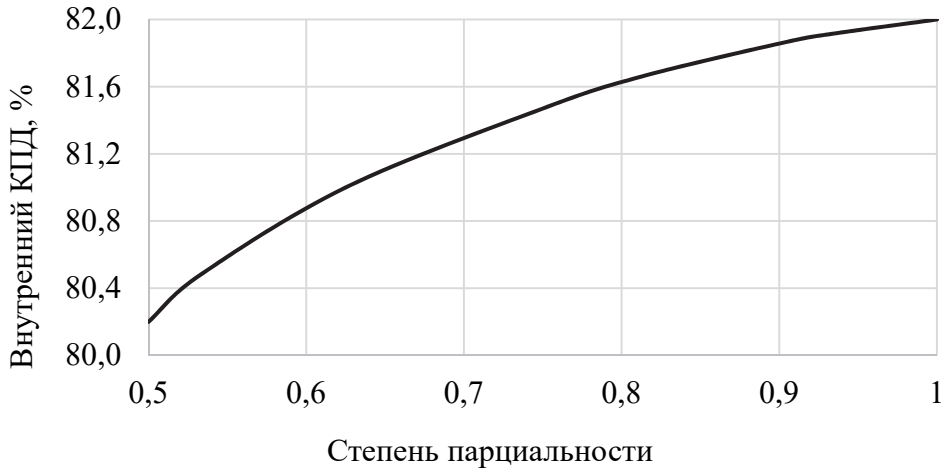


Рисунок 1 – Влияние внутреннего КПД от степени парциальности

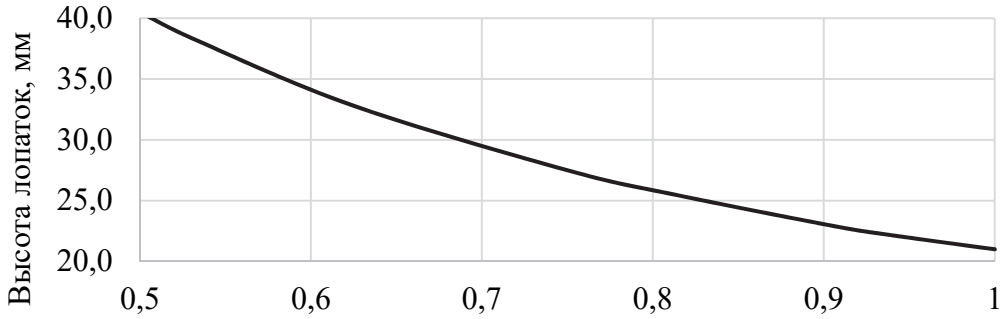


Рисунок 2 – Влияние высоты лопаток первой ступени от степени парциальности

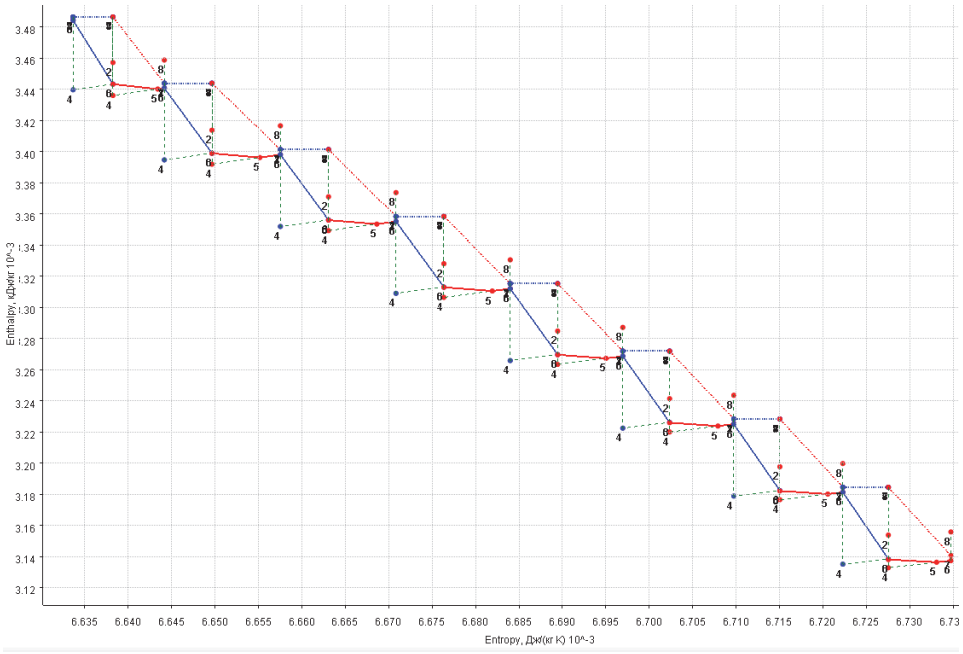


Рисунок 3 – Процесс расширения пара на среднем диаметре цилиндра в I-S диаграмме

Результаты проектировочного расчёта цилиндра высокого давления турбины мощностью 100 МВт с начальным давлением 12,8 МПа показывают, что при номинальном расходе пара 441 т/ч оптимальным решением является выбор максимальной степени парциальности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. SoftInWay. – URL: https://www.softinway.com (дата обращения: 11.12.2024).

2. Бойко, Е. А. Тепловые электрические станции (паротурбинные энергетические установки ТЭС): Справочное пособие / Е. А. Бойко, К. В. Баженов, П. А. Грачев. Красноярск : ИПЦ КГ ГУ, 2006. – 152 с.

3. The International Association for the Properties of Water and Steam. – URL: https://iapws.org/relguide/IF97-Rev.pdf (дата обращения: 11.12.2024).

УДК 621.438

Пашкевич Валентина Иосифовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pashkevich Valentina Iosifovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Смирнов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Smirnov Alexey Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Thermal Power Plants», Komsomolsk-na-Amure State University

СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

SCHEMATIC SOLUTIONS FOR COMBINED-CYCLE POWER PLANTS

Аннотация. Парогазовые технологии являются в настоящее время одним из направлений развития тепловой энергетики страны. В зависимости от условий применения и внедрения комбинированных установок, целесообразным представляется проведение экспертной оценки в части выбора вида парогазовой установки. В работе приводятся некоторые схемные решения и особенности работы парогазовых установок электростанций.
Abstract. Steam-gas technologies are currently one of the areas of development of thermal energy in the country. Depending on the conditions of application and implementation of combined plants, it seems appropriate to conduct an expert assessment in terms of choosing the type of steam-gas plant. The work provides some circuit solutions and features of the operation of steam-gas plants of power plants.
Ключевые слова: тепловые электрические станции, парогазовые установки, схемные решения.
Key words: thermal power plants, combined-cycle gas installations, schematic solutions.

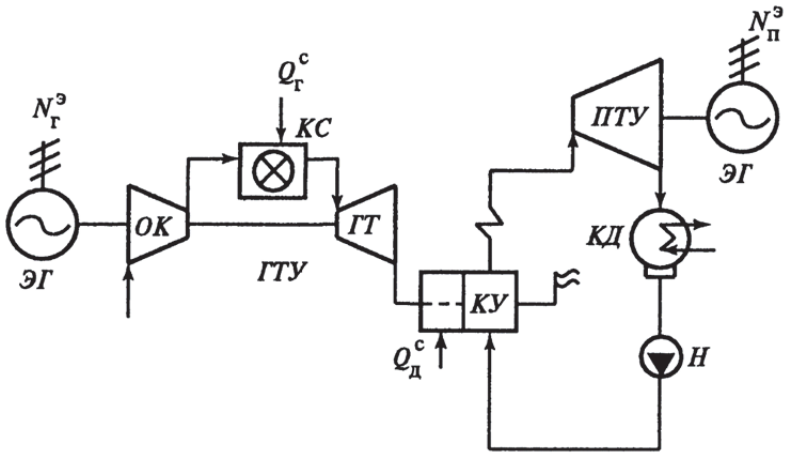
В последнее время все большее внимание в энергетике страны уделяется разработке, внедрению и эксплуатации парогазовых установок (ПГУ). Термодинамическая эффективность комбинированных парогазовых установок доказана уже давно, но свое широкое внедрение эти установки начали получать в последние десятилетия. Так, например, по данным источника [1], за 12 лет, в период с 2010 по 2021 г., доля парогазовых установок (ПГУ) и газотурбинных электростанций (ГТЭС) возросла с 5 до почти 21% в структуре установленной мощности тепловых электростанций единой энергетической системы.

Конечно, пути реализации парогазовых технологий, так же, как и затраты и эффект от их внедрения, различны. Соответственно, интерес в тепловой энергетике представляют схемные решения указанных выше установок в зависимости от условий их применения.

На сегодняшний день сложилась устойчивая классификация парогазовых установок, реализуемых в стационарной энергетике. Различают следующие виды установок [2]:

- ПГУ с утилизационным котлом (и вариация с дожиганием топлива);
- ПГУ сбросного типа;
- ПГУ с полузависимой схемой работы;
- ПГУ с параллельной схемой работы;
- ПГУ с высоконапорным парогенератором;
- ПГУ с внутрицикловой газификацией угля;
- ПГУ со смешением рабочих тел.

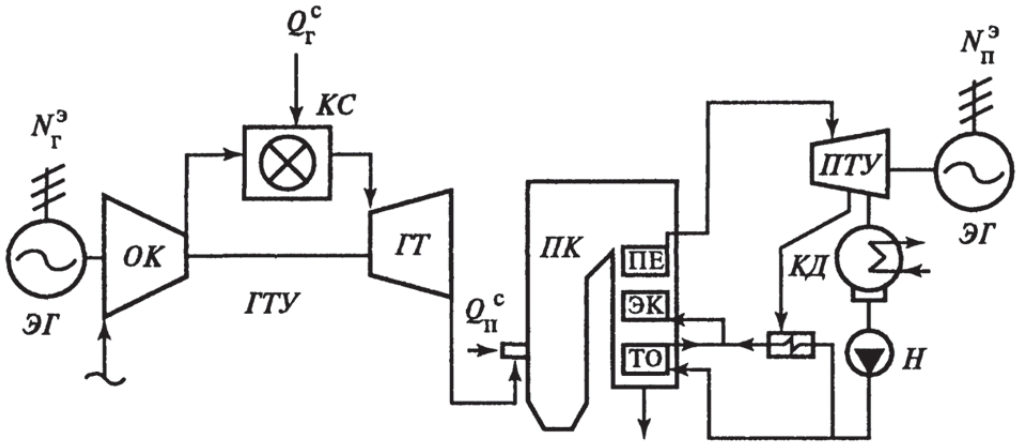
При выборе той или иной схемы ПГУ необходимо учитывать различные факторы: мощность проектируемой установки; строительство новой станции или модернизация действующей; возможности по размещению оборудования в случае модернизации станции; надежность работы всей установки; издержки на эксплуатацию и др. Рассмотрим схемы установок, наиболее чаще встречающиеся при реализации парогазовых технологий. Наиболее простым типом является ПГУ с утилизационным котлом (рисунок 1) [2].



ОК – осевой компрессор, КС – камера сгорания, ГТ – газовая турбина, КУ – котел-утилизатор, ПТУ – паротурбинная установка, КД – конденсатор, Н – насос, ЭГ - электрогенератор

Рисунок 1 – Принципиальная схема ПГУ с утилизационным котлом

Такие комбинированные установки просты в проектировании и исполнении. Реализовать их проще при строительстве новых станций, так как на действующих станциях требуются либо дополнительная площадка для размещения нового оборудования, либо демонтаж старого (например, энергетической котельной установки). В качестве недостатка можно также отметить прямую зависимость паротурбинной части от газотурбинной, так как в случае остановки последней не работает вся установка. Парогазовые установки сбросного типа используют в своей схеме энергетический котел. Схема такой установки приведена на рисунке 2 [2].



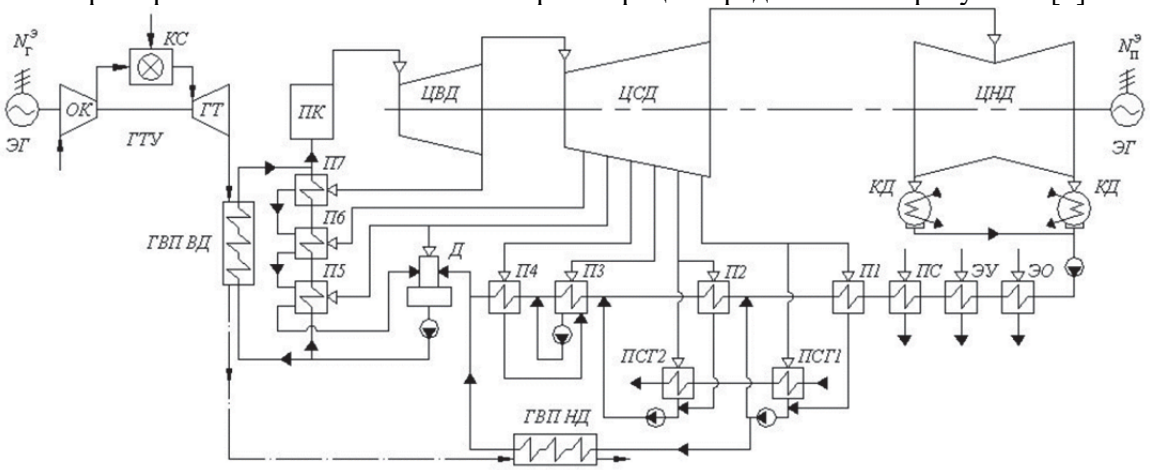
ОК – осевой компрессор, КС – камера сгорания, ГТ – газовая турбина, ПК – паровой котел, ПТУ – паротурбинная установка, КД – конденсатор, Н – насос, ЭГ - электрогенератор

Рисунок 2 – Принципиальная схема ПГУ сбросного типа

Установки сбросного типа, конечно, можно реализовывать и при строительстве новых объектов энергетики, но интерес представляет их реализация на действующих станциях. Ведь это простой способ с минимальными затратами увеличить выработку электроэнергии на станции. Действительно, речь идет только о размещении газотурбинной части, выполняющей роль надстройки парового цикла, и частичной реконструкции конвективной части котельной установки и системы регенерации паротурбинного цикла. Конечно, должна быть определена площадка под установку газотурбинного двигателя. Недостатком «сбросной» схемы является то, что при реконструкции котельной установки демонтируется воздухоподогреватель и дутьевые вентиляторы. Поэтому при остановке газотурбинной части паровой котел не сможет обеспечить требуемые параметры пара с соответствующим к.п.д. Также требуется тщательная «стыковка» газотурбинной и паротурбинной частей по объему и температуре сбрасываемых газов. Интересным решением, по своим возможно-

стям, представляется применение условно зависимых схем парогазовых установок: ПГУ с полузависимой схемой работы (в том числе ПГУ с вытеснением регенерации) и ПГУ с параллельной схемой работы. Такие установки позволяют осуществлять работу своих частей как вместе, так и без одной из них (например, в случае ремонта). Реализация парогазовых технологий по таким схемам интересна в случае расширения действующих станций. Конечно, в этом случае опять встает вопрос размещения нового оборудования, прежде всего, газотурбинного двигателя, утилизационного котла или газоводяных подогревателей.

Пример схемы ПГУ с вытеснением регенерации представлен на рисунке 3 [3].



Основные обозначения: ГВП ВД – газоводяной подогреватель высокого давления, ГВП НД – газоводяной подогреватель низкого давления

Рисунок 3 - Принципиальная схема ПГУ с вытеснением регенерации на примере турбоустановки Т-110/120-130

В зависимости от мощности газотурбинного двигателя и, соответственно, теплового потенциалы отработавших в турбине газов, возможны различные варианты «вытеснения» теплообменников, включая сетевые подогреватели.

В предстоящей работе предлагается оценить технико-экономический эффект от внедрения парогазовой установки с вытеснением регенерации в энергетическую схему Комсомольской ТЭЦ-3, имеющей в своем составе два энергоблока на базе турбоустановок Т-180/210-130. Несмотря на перспективность развития парогазовых технологий и многообразие видов комбинированных установок, следует проводить всестороннюю оценку при выборе того или иного способа комбинирования. Для действующих электростанций одним из интересных и относительно несложных видов комбинирования является применение парогазовых установок с полузависимой схемой работы, таких как ПГУ с вытеснением регенерации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Комаров, И.И. Перспективы паротурбинной технологии в теплоэнергетике России // Энергия: экономика, техника, экология, - 2023. - № 12. - С.31-38. - DOI: 10.7868/S0233361923120054. - EDN: SUPKDF.

2. Цанев, С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов; под ред. С.В. Цанева.- М.: Издательский дом МЭИ, 2009.- 584 с. - EDN: QMKIAX.

3. Култышев А. Ю. Парогазовые установки и особенности паровых турбин для ПГУ: учеб. пособие / А. Ю. Култышев, В. Н. Голошумова, А. С. Алешина. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 163 с.- ISBN 978-5-7422-7740-8.

УДК 621.039:629.51

Петрушин Александр Максимович, студент, Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского

Petrushin Alexander Maximovich, student, Maritime State Universitv named after admiral G.I. Nevelskoy
Старостин Кирилл Александрович, студент, Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского
Starostin Kirill Alexandrovich, student, Maritime State Universitv named after admiral G.I. Nevelskoy
Коваленко Юрий Валентинович, кандидат экономических наук, доцент, Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского
Kovalenko, Yuri Valentinovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Maritime State Universitv named after admiral G.I. Nevelskoy

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И АТОМНЫХ ПЛАВУЧИХ СТАНЦИЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

THE CURRENT STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF NUCLEAR ENERGY AND NUCLEAR FLOATING STATIONS IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Аннотация. Статья исследует современное состояние и перспективы развития атомной энергетики и атомных плавучих станций (ПАТЭС) в Арктической зоне Российской Федерации. Цель работы – анализ роли атомных технологий в обеспечении энергетической безопасности и устойчивого развития удалённых арктических регионов. Предмет исследования включает технические, экологические и экономические аспекты эксплуатации атомных объектов в условиях Крайнего Севера. Результаты работы демонстрируют потенциал ПАТЭС для энергообеспечения изолированных территорий, а также выявляют ключевые вызовы, связанные с логистикой, экологической безопасностью и кадровым обеспечением.
Abstract. The article examines the current state and prospects for the development of nuclear energy and floating nuclear power plants (FNPPs) in the Arctic zone of the Russian Federation. The aim of the work is to analyze the role of nuclear technologies in ensuring energy security and sustainable development of remote Arctic regions. The subject of the research includes technical, environmental, and economic aspects of operating nuclear facilities in the conditions of the Far North. The results of the work demonstrate the potential of FNPPs for power supply to isolated territories, as well as identify key challenges related to logistics, environmental safety, and staffing.
Ключевые слова: атомная энергетика, плавучие АЭС, Арктическая зона РФ, энергетическая безопасность
Key words: nuclear power industry, floating nuclear power plants, Arctic zone of the Russian Federation, energy security

Арктическая зона Российской Федерации (РФ) представляет собой стратегически важный регион, обладающий огромным ресурсным потенциалом, но характеризующийся экстремальными климатическими условиями и слаборазвитой инфраструктурой. Основная проблема – обеспечение устойчивого энергоснабжения удалённых территорий. Традиционные источники энергии (уголь, дизель) в условиях Севера экономически невыгодны и экологически небезопасны. Атомная энергетика, включая плавучие атомные станции (ПАТЭС), рассматривается как перспективное решение для энергобезопасности и развития региона. Актуальность темы связана с освоением арктических ресурсов, развитием Северного морского пути и обеспечением энергией изолированных населённых пунктов. ПАТЭС, такие как «Академик Ломоносов», уже доказали свою эффективность, но их широкое внедрение требует решения технических, экологических и экономических задач. Целью данной работы является анализ современного состояния атомной энергетики в Арктической зоне РФ, оценка перспектив развития ПАТЭС. Степень разработанности темы в научной литературе остаётся недостаточной, несмотря на растущий интерес к атомной энергетике в Арктике. Большинство исследований посвящено техническим аспектам ПАТЭС, тогда как вопросы их интегра-

ции в энергетическую инфраструктуру региона, экологические риски и экономическая эффективность изучены в меньшей степени. Данная статья предлагает комплексный анализ текущей ситуации и перспектив развития атомной энергетики в Арктике.

Современное состояние атомной энергетики в Арктике

Арктическая зона Российской Федерации представляет собой стратегически важный регион, богатый природными ресурсами, но характеризующийся экстремальными климатическими условиями и слаборазвитой инфраструктурой. Одной из ключевых проблем освоения Арктики является обеспечение устойчивого и надёжного энергоснабжения удалённых территорий. В этом контексте атомная энергетика, в частности плавучие атомные станции (ПАТЭС), рассматривается как перспективное решение, способное обеспечить энергетическую безопасность и поддержать экономическое развитие региона.

Атомная энергетика играет важную роль в энергобалансе России, особенно в регионах, где традиционные источники энергии недоступны или экономически невыгодны. В Арктической зоне РФ уже эксплуатируются атомные ледоколы, которые обеспечивают навигацию по Северному морскому пути. Однако для стационарного энергоснабжения населённых пунктов и промышленных объектов требуются новые подходы.

Первой в мире плавучей атомной станцией стала «Академик Ломоносов», введённая в эксплуатацию в 2020 году [1]. ПАТЭС в Певеке (Чукотский автономный округ) — самая северная АЭС в мире [2]. Плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» – это уникальный проект российской атомной отрасли, разработанный для обеспечения энергией удалённых и труднодоступных регионов (рисунок 1).

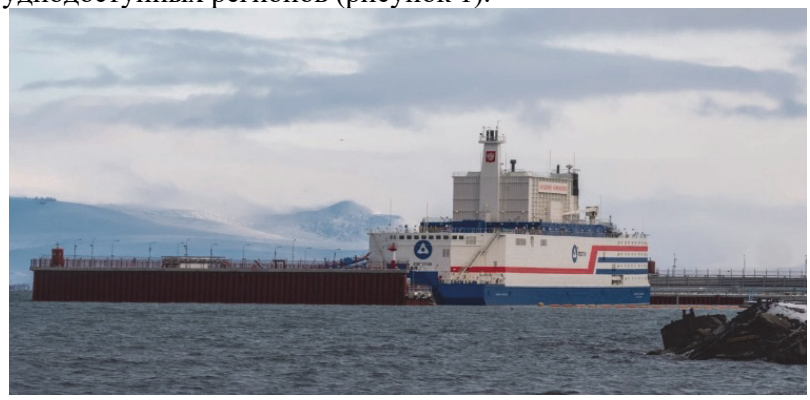


Рисунок 1 – Плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов»

Станция была спроектирована и построена госкорпорацией «Росатом» и введена в эксплуатацию в 2020 году в городе Певек. ПАТЭС «Академик Ломоносов» представляет собой несамоходное судно длиной 144 метра и шириной 30 метров. На борту станции установлены два реактора типа КЛТ-40С, каждый из которых имеет тепловую мощность 150 МВт и электрическую мощность 35 МВт. Общая электрическая мощность станции составляет 70 МВт, что достаточно для обеспечения энергией города с населением до 100 тысяч человек. Этот проект доказал свою эффективность в обеспечении энергией удалённых районов, что открывает новые перспективы для использования ПАТЭС в Арктике.

Преимущества плавучих атомных станций

Плавучие атомные станции обладают рядом преимуществ, которые делают их идеальным решением для Арктики: во-первых, атомная энергетика экологически чистая. Хрупкая северная природа невероятно уязвима перед любым антропогенным воздействием, поэтому безопасность окружающей среды имеет принципиальное значение [3]. Во-вторых, мобильная: ПАТЭС могут быть доставлены в любую точку побережья, что особенно важно для изолированных регионов. В-третьих, надёжная: атомные станции обеспечивают стабильное энергоснабжение независимо от внешних условий.

Перспективы развития

Развитие атомной энергетики в Арктике связано с реализацией крупных инфраструктурных проектов, таких как освоение месторождений полезных ископаемых, развитие Северного морского пути и создание новых населённых пунктов. ПАТЭС могут стать основой для создания энергетических кластеров, обеспечивающих энергией как промышлен-

ные объекты, так и гражданскую инфраструктуру. Одним из перспективных направлений является создание модифицированных ПАТЭС с увеличенной мощностью и улучшенными характеристиками безопасности. Также рассматривается возможность использования малых модульных реакторов (ММР), которые могут быть адаптированы для различных задач.

Атомная энергетика и плавучие атомные станции играют ключевую роль в обеспечении энергетической безопасности и устойчивого развития Арктической зоны РФ. ПАТЭС доказали свою эффективность в условиях Крайнего Севера, а их дальнейшее развитие открывает новые возможности для освоения региона. Однако успешная реализация проектов требует учёта экологических, экономических и социальных аспектов, а также активного взаимодействия между государством, бизнесом и научным сообществом. Перспективы развития атомной энергетики в Арктике связаны с созданием модифицированных ПАТЭС. Успешная реализация этих проектов будет способствовать экономическому росту, улучшению качества жизни населения и укреплению позиций России в Арктике. Таким образом, атомная энергетика может стать ключевым элементом стратегии освоения Арктической зоны, обеспечивая её устойчивое развитие в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Академик Ломоносов // Википедия. [2025]. Дата обновления: 15.01.2025. – . – URL: https://ru.wikipedia.org/?curid=230619&oldid=142728389 (дата обращения: 07.04.2025).

2. ПАТЭС: как это работает и кто строит // Страна Росатом : отраслевое издание госкорпорации «Росатом». – Раздел сайта «Разговор о главных». – . – URL: https://strana-rosatom.ru/people/pates/ (дата обращения: 06.04.2025).

3. Чистая энергия для развития Арктики // Арктика Россия: инвестиционный портал Арктической зоны России. – . – URL: https://arctic-russia.ru/article/chistaya-energiya-dlya-razvitiya-arktiki/ (дата обращения: 07.04.2025).

УДК [658.51+ 681.518.5]:[629.4+621.31]

Потапов Антон Андреевич, аспирант, Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Potapov Anton Andreevich, postgraduate student, Far Eastern State Transport University

Госьков Михаил Олегович, аспирант, Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Goskov Mikhail Olegovich, postgraduate student, Far Eastern State Transport University

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА АНДОН ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

APPLICATION OF THE ANDON LEAN MANUFACTURING PRINCIPLE FOR RANKING THE CONDITION OF TECHNICAL FACILITIES

Аннотация. Для упрощения управления техническими объектами применяют системы поддержки принятия решений (СППР). Их можно реализовать на базе принципа бережливого производства «Андон». С помощью световой сигнализации «Андон» возможно ранжировать технические объекты по их состоянию, например локомотивы или трансформаторы, и использовать их в зависимости от нагрузки, которую способен воспринять технический объект, что способствует росту эффективности производства.

Abstract. Decision support systems (DSS) are used to simplify the management of technical facilities. They can be implemented based on the lean manufacturing principal “Andon”. With the help of Andon light signaling, it is possible to rank technical objects according to their condition, for example, locomotives or transformers, and use them depending on the load that the technical object can handle, which contributes to an increase in production efficiency.

Ключевые слова: андон, СППР, локомотив, трансформатор, ранжирование, техническое состояние.

Key words: Andon, DSS, locomotive, transformer, ranking, technical condition.

В настоящее время во всех отраслях промышленности используются сложные технические объекты и системы (подвижной состав, трансформаторы и т.д.), характеризуемые большим количеством данных. Для принятия управленческих решений с необходимыми точностью и скоростью требуется оперативные обработка этих данных.

При этом с увеличением количества данных и их усложнением снижается наглядность сложных технических систем и способность эффективно ими управлять. В условиях дефицита специалистов и постоянного увеличения числа используемых технических систем очевидно, что функции эффективного контроля и управления такими системами сложно осуществить с помощью человека.

Поэтому сейчас всё чаще применяются системы поддержки принятия решений (СППР). В то же время многие СППР имеют потенциал совершенствования, так как на их базе часто реализован достаточно простой функционал в виде временных диаграмм рабочего процесса (зависимость «время – характеристика») или контроль сохранения наблюдаемого параметра рабочего процесса в заданном интервале.

С целью упрощения процессов управления, в середине XX века был сформирован принцип бережливого производства «Андон». Рассмотрим, как этот принцип сигнальной автоматической системы повышает эффективность и надежность технических систем.

Андон (в пер. с японского – бумажный фонарик) – это сигнальная система, обозначающая остановку оборудования или проблемы с его работой. Обычно «Андон» представляют в виде «светофорной» световой сигнализации, имеющей три индикатора-фонаря – красного, жёлтого и зелёного цветов. Принцип работы «Андон» приведен на рисунке 1 [1].

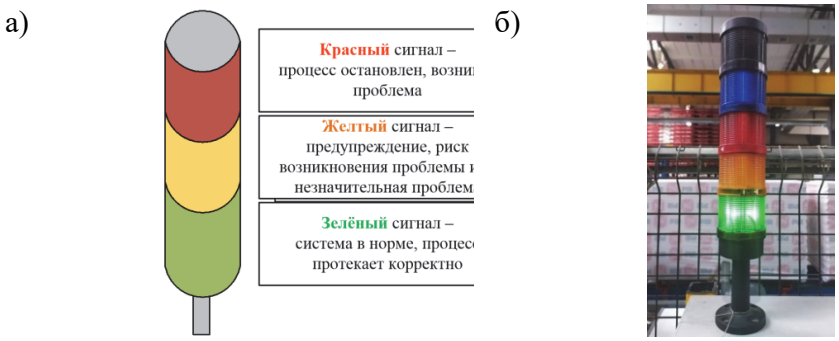


Рисунок 1 – «Андон»: а) принцип работы; б) пример индикации на производстве

Изучение проблем учёта и анализа производственных потерь различного вида началось ещё в 1920-1930-е гг. Так, в СССР на ряде заводов использовалась механическая сигнализация о простоях при помощи разноцветных флажков или дисков (наподобие железнодорожных семафоров). Применение таких простых приёмов позволило увеличить фонд рабочего времени на некоторых заводах с 40-50 % до 70-80 % [2].

Во многих советских работах 1930-х гг. рассматривалась эффективность использования производственной информации для принятия решений. Рисунок 2 наглядно отражает применявшийся тогда отсев пригодной для принятия решений информации [2].

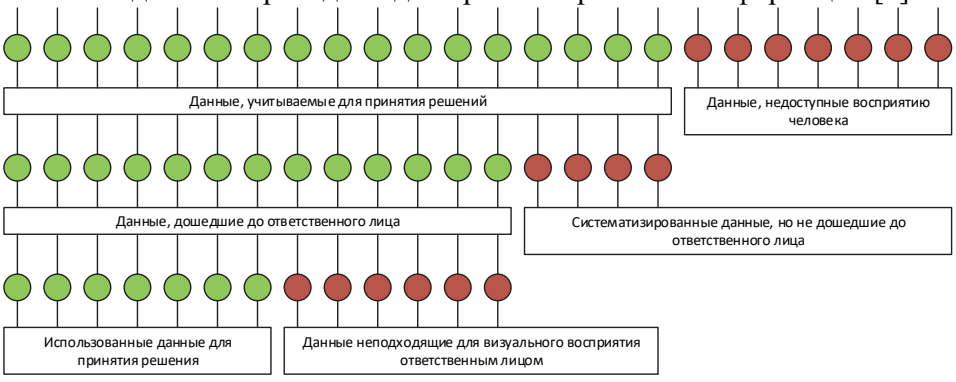


Рисунок 2 – Соотношение общего объёма данных и использованных для принятия решения

Работы по изучению простоев и потерь на производстве были направлены прежде всего на анализ причин потерь, с целью выработки мероприятий по их устранению. К сожалению, эти идеи в СССР в дальнейшем не нашли широкого распространения [2].

На Западе в это же время активно разрабатывалось несколько концепций повышения эффективности производства (Тейлоризм, теория качества Эдварда Деминга – цикл Деминга или цикл PDCA и прочее). В конце 1940-х – начале 1950-х гг. эти идеи были востребованы компанией Toyota и легли в основу системы Дао Toyota и производственной системы Тойота – Toyota Production System (TPS). В 1970-1980-е гг. японский опыт улучшения производства проник в США и в другие западные страны, а оттуда добрался и до России. Так принцип информационной сигнализации «Андон», часть системы Дао Toyota, вернулся в Россию спустя шестьдесят лет [1]. «Андон» является частью принципа «Дзидока» – составляющей TPS, означающей остановку рабочего процесса ради встраивания качества. Под встраиванием качества понимается оперативное выявление и устранение дефектов во время автоматической остановки производства. Основа «Андон» – не сложные технические устройства, а отлаженная система оперативного реагирования и устранения дефектов в процессе. Данные помехи выявляются автоматически или автоматизировано, о них сигнализируют системы визуальной индикации (например, в виде «светофорной» сигнализации). Андон сигнализирует о проблеме, чтобы можно было приступить к её решению максимально просто, оперативно и в месте её возникновения. Метод «Андон» работает только тогда, когда организация имеет необходимую квалификацию для решения выявленных проблем по месту их возникновения. Если процесс решения проблем не отработан и люди не знают, как к нему подступиться, внедрение «Андон» приносит значительно меньшую эффективность [1]. В ряде случаев при эксплуатации отдельных технических систем уже существует отлаженный механизм управления и реагирования на те или иные производственные проблемы. Часто для принятия адекватного управленческого решения не хватает оперативной информации. Тогда «Андон» может быть применим в виде СППР как дополнительный инструмент визуализации для повышения управляемости технической системы. Рассмотрим пример применения данного принципа в разрезе следующей диалектической связки: «Андон» может использоваться и как для поддержания работы технической системы в наиболее эффективном режиме, так и напротив, для контроля перехода работы системы из номинального режима в зону неэффективных и опасных режимов. Первый пример посвящён реализации работы технического объекта – локомотива – в наиболее эффективном для его технического состояния режиме. На железнодорожном транспорте для обеспечения качества перевозок необходимо максимально эффективно использовать тяговый подвижной состав – локомотивы. В настоящее время с ростом веса поездов критически важным является постановка под «тяжёлый» поезд исправного локомотива. В то же время опыт эксплуатации парка локомотивов показывает, что его техническое состояние «неравномерно» – есть технически исправные тяговые единицы, а есть такие, которые находятся в предотказном состоянии. Принятие решения о постановке того или иного локомотива под поезд принимают поездные диспетчеры (ДНЦ). В своей работе они используют данные от машинистов, дежурных по станциям и эксплуатационного персонала депо. Фактически они не используют СППР для принятия решения о годности локомотива. Поэтому внедрение в рабочий процесс ДНЦ наглядно визуализированных СППР для ранжирования технического состояния парка позволит ставить под «тяжелые» поезда наиболее надёжные тяговые единицы [3].

Использование андона будет выглядеть так: каждый локомотив в парке на основе интегральной оценки его состояния будет отнесён к одной из трёх категорий – «зелёной», «жёлтой», «красной».

- Локомотив, выделенный в «зелёную» категорию, способен максимально реализовать паспортные характеристики и имеет наименьшую вероятность отказа.
- Локомотив в «желтой» категории не в полной мере реализует тяговые характеристики при максимальной нагрузке, например, на руководящем подъеме движется со скоростью, меньшей нормативной.

• Локомотив «красной» категории находится либо в предотказном состоянии, либо имеет высокую вероятность отказа (на основе опыта прошлой эксплуатации).

Применение андона (для разных рабочих режимов локомотива) рассмотрено в [4].

Второй пример, где «Андон» может быть применен – это контроль работы силового трансформатора для его защиты от работы в ненормальных нагрузочных режимах.

В современных условиях постоянно возрастают перетоки мощности в электрических сетях. Силовые трансформаторы все чаще работают на пределе своей пропускной способности. Это влечёт риск их перегрева и снижения срока эксплуатации.

Для защиты силовых трансформаторов от длительных термических перегрузок используется автоматика ограничения перегрузки оборудования (АОПО). АОПО осуществляет контроль электрических параметров перетока мощности через силовой трансформатор и температуру окружающего воздуха, и на основе данных о превышении фиксированной уставки выдают визуальный сигнал диспетчеру для принятия решения. Как показано в [5], перегрев трансформатора ведет к ускоренному старению изоляции и сокращению его срока службы. Традиционные системы защиты с фиксированными уставками (АОПО) не учитывают динамику нагрева и изменения параметров трансформатора. Поэтому критически важным становится внедрение систем, обеспечивающих как оперативное обнаружение проблем, так и наглядное представление состояния оборудования с автоматизацией управляющих воздействий. «Андон» может стать основой для создания адаптивных систем мониторинга. Интеграция прогнозной математической модели с трехуровневой сигнализацией обеспечивает наглядное и эффективное управление тепловыми режимами. Это подтверждается опытом применения аналогичных подходов, например, на Заинской ГРЭС, где адаптивные алгоритмы повысили точность срабатывания защит. Андон-системы становятся ключевым инструментом перехода к «бережливой» энергетике.

«Андон», как сигнальная система, предполагает трехуровневую индикацию:

• Зеленый уровень: температура трансформатора в норме, нагрузка номинальная.

• Желтый уровень: прогнозируемое превышение критической температуры через заданный интервал времени (например, 30 минут). Система автоматически активирует дополнительные режимы охлаждения (включение резервных вентиляторов и т.д.) [5].

• Красный уровень: немедленная угроза повреждения. Автоматика инициирует снижение нагрузки через коммутацию сети или выдачу сигналов диспетчеру [5].

Интеграция системы контроля состояния технического объекта с математической моделью, характеризующей это состояние, позволяет перейти от реактивного к превентивному управлению. Прогнозирование времени до достижения критического состояния, описанное в работе [5], становится основой для формирования сигналов.

«Андон» как принцип бережливого производства исторически использовался как СППР, поэтому можно использовать этот принцип для сокращения объема информации, необходимой к обработке человеком, и для повышения удобства её восприятия персоналом, принимающим управленческие решения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лайкер, Д. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира / Джеффри Лайкер; Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 402 с.

2. Кац, Б. А. Из истории советской системы планово-предупредительных ремонтов. // Трубопроводная арматура и оборудование. – 2014. – №1 (70). – С. 81-83 ; №2 (71). – С. 38-42 ; № 3 (72/1). – С. 68-71.

3. Давыдов, Ю. А. Реинжиниринг системы формирования эксплуатируемого парка локомотивов / Ю. А. Давыдов, А. К. Пляскин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 2(58). – С. 106-112.

4. Пляскин, А. К. Апробация методики и устройства контроля дизель-генераторных установок тепловозов / А. К. Пляскин, А. А. Потапов, М. Ю. Кейно // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2024. – № 1(38). – С. 99-112.

5. Константинов, А. М. Применение математического моделирования при разработке адаптивной автоматики ограничения перегрузки силового трансформатора / А. М. Константинов, М. О. Госьков // Энергия единой сети. – 2023. – № 2(69). – С. 48-55.

УДК 621.565.93
Ротормель Оксана Юрьевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Rotormel Oksana Yurievna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Попов Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Popov Alexey Yurievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ РАБОТЫ ТРУБОПРОВОДА В ПРОГРАММЕ HYSYS

CALCULATION MODELS OF PIPELINE OPERATION IN THE HYSYS PROGRAM

Аннотация. В работе рассмотрены возможности программы HYSYS по моделированию течения газожидкостных сред в трубопроводе с расчетом теплоотдачи в окружающую среду. Представлены особенности и различия расчетных моделей, которые позволяют провести моделирование процессов при транспортировке и передаче тепловой энергии по трубопроводам в программе HYSYS.
Abstract. The paper considers the possibilities of the HYSYS program for modeling the flow of gas-liquid media in a pipeline with the calculation of heat transfer to the environment. The features and differences of computational models that allow modeling processes during transportation and transmission of thermal energy through pipelines in the HYSYS program are presented.
Ключевые слова: трубопровод, тепловые потери, гидравлические потери, модели расчета трубопровода.
Keywords: pipeline, heat losses, hydraulic losses, pipeline calculation models.

При моделировании теплоэнергетических систем необходимо рассчитывать компоненты оборудования и вычислять характеристики рабочих веществ [1]. Трубопроводные сети – неотъемлемая часть технологических процессов. В программном комплексе HYSYS [2] модуль «Трубопровод» предназначен для имитации разнообразных трубопроводных систем, охватывая как однофазные, так и многофазные потоки с учетом теплообмена с окружающей средой, а также высокопроизводительные магистральные трубопроводы.

В программном комплексе HYSYS, при моделировании операции «Трубопровод», доступны четыре вычислительных режима: определение диаметра, расчет гидравлического сопротивления, определение расхода и вычисление длины.

Для решения задачи расчета трубопровода в HYSYS, необходимо указать параметры потока рабочей среды, характеристики теплообмена и выбрать подходящий метод расчета. Вне зависимости от выбранного метода, важно задать количество участков трубопровода и их пространственную конфигурацию. Вычисления выполняются последовательно для каждого участка. При определении падения давления на каждом участке, программа рассчитывает материальный и энергетический балансы, используя давление на входе в участок в качестве отправной точки для расчета следующего участка. Этот итерационный процесс продолжается по всей длине трубопровода. Расчет завершается после определения давления на выходе из трубопровода. Вычисление параметров теплоносителя трубопроводной системы представляет собой процесс, организованный в виде последовательности вложенных циклов. Внешний цикл отвечает за перебор участков трубопровода в зависимости от заданных условий (давление, протяженность, объем перекачиваемой жидкости). Внутри него организованы два итерационных процесса: для определения температуры и давления. Для вычисления этих параметров используется метод секущих.

Расчет ведется в следующем порядке.

1. Начальные значения температуры и давления рабочей среды передаются в блок расчета материального и теплового баланса.

2. На основе анализа изменения температуры и давления по длине трубы, оцениваются соответствующие параметры на выходе.

3. Рассчитываются средние характеристики теплоносителя, исходя из параметров на входе и выходе.

4. Полученные свойства, вместе с входным давлением, направляются в модуль расчета градиента давления.

5. С использованием вычисленного градиента, корректируется значение выходного давления.

6. Проводится сопоставление уточненного давления с его первоначальной оценкой. В случае превышения заданного порога погрешности, выполняется корректировка входного давления и повторение цикла.

7. После достижения сходимости итераций давления, определяется значение выходной температуры.

8. По завершении вычислений, значения температуры и давления на выходе из текущего участка трубы становятся входными данными для последующего участка, где алгоритм повторяется.

Для определения гидравлического сопротивления двухфазного потока (смеси пара и жидкости) можно выбрать одну из доступных расчетных моделей.

Предлагаемые модели представлены ниже.

1. Модель Aziz, Gover and Fogarasi. Данный подход к моделированию потока учитывает только плотность рабочей среды, не принимая во внимание вязкость компонентов потока или диаметр трубы.

2. Модель Baxendel and Thomas разработана специально для процессов, характеризующихся высокими расходами. Она представляет собой гомогенную модель, использующую коэффициент трения для двухфазного потока, и базируется на эмпирических данных.

3. Модель Beggs and Brill основана на обобщенных экспериментальных данных и предназначена для расчета течений водо-воздушной смеси в разнообразных условиях, включая наклонные участки. Режим потока в этой модели определяется с использованием числа Фруда и объемной доли жидкости.

4. Модель Duns and Ros, разработанная на основе лабораторных исследований вертикальных потоков газожидкостных смесей, учитывает три характерные области, соответствующие различным режимам течения:

– область 1: жидкая фаза является непрерывной (пузырьковый и пробковый, и пенистый режимы);

– область 2: жидкая и газовая фазы перемешаны (частично пенистый и поршневой режимы);

– область 3: газовая фаза является непрерывной (кольцевой и туманно-капельный режимы).

5. Модель Gregory Aziz Mandhane. Этот метод используется для определения общего падения давления в двухфазных потоках.

6. Модель Hagedorn and Brown. В основе вычислительной схемы лежит аппроксимация эмпирических данных. В качестве рабочей среды рассматривалась смесь восходящего потока вода-воздух и углеводородная смесь с воздухом. Модель оценивает гидравлическое сопротивление, обусловленное вязкостью, используя коэффициент трения и число Рейнольдса, вычисленное для гомогенного двухфазного потока. При определении числа Рейнольдса рассчитываются паровая доля потока и статическое давление смеси.

7. Модель HTFS. HTFS включает две подмодели, использующие идентичный подход к расчету гидравлического сопротивления, вызванного трением и ускорением потока. Различие между ними заключается в способах определения статической составляющей давления. Сначала оценивается сопротивление течению для жидкой и газообразной фаз, при этом допускается существование потока даже при отсутствии одной из фаз. Затем про-

изводится расчет гидравлического сопротивления. Результат вычисляется на основе независимых моделей двухфазного потока. В подмодели HTFS Homogenious паровая доля определяется исходя из предположения о гомогенности смеси. Сопротивление движению двухфазного потока рассчитывается по формуле, применяемой в гомогенной модели.

8. Модель Orkiszewski. Эта модель учитывает четыре различных режима течения, используя следующие уравнения:

– Bubble (пузырьковый режим);

– Slug/Plug (поршневой/пробковый режимы);

– Churn (смешанный режим);

– Mist/Annular (насыщенный и паровой режим).

9. Модель Poettmann and Carpenter. Данная модель применяется при условии, что влияние ускорения среды на гидравлическое сопротивление незначительно, а сопротивление трения определяется на основе гомогенной модели течения. Последующий расчет базируется на предположении о том, что потери статического напора вычисляются исходя из математической модели гомогенной двухфазной среды. В модели используется коэффициент трения, полученный эмпирическим путем.

10. Модель Tacite Hydrodynamic Module позволяет рассчитывать многокомпонентный двухфазный поток и может быть использована для проектирования и анализа работы газовых и нефтяных трубопроводных систем. Модель предлагает два метода расчета:

– общее моделирование газ-жидкость;

– метод Zuber-Findlay – расчет режима потока, гидравлического сопротивления, скорости, доли газовых пузырей, коэффициента теплоотдачи и объемной доли жидкости в наклонных и горизонтальных трубах.

При выборе расчетной модели в программе HYSYS следует учитывать особенности процесса течения рабочей среды и ее состав. Выбор расчетной модели зависит от проектной задачи и окажет влияние на точность результатов расчетов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кутателадзе, С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление : Справ. пособие / С. С. Кутателадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.

2. Симуляторы тепловых схем энергетического оборудования: метод. указания по выполнению лаб. работ / сост. А. Ю. Попов. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2016. – 19 с.

3. Aspen HYSYS. Unit Operations Guide. –Burlington: Aspen Technology, 2010. – 1722 с.

УДК 629.4.014.3

Семенова Виктория Анатольевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Semenova Victoria Anatolyevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Гунькова Ольга Владимировна, старший преподаватель кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Gunkova Olga Vladimirovna, Senior Lecturer of the Department «Shipbuilding and Computer Engineering», Komsomolsk-na-Amure State University

ОБЗОР ИННОВАЦИОННЫХ ВАГОНОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

OVERVIEW OF INNOVATIVE RAILCARS IN THE RUSSIAN FEDERATION

Аннотация. В данной работе рассматриваются вагоны нового поколения, так называемые инновационные вагоны, обладающие улучшенными техническими характеристиками, такими как увеличенные грузоподъёмность, объем и сроки межремонтного пробега. Данные вагоны способны перевозить различные виды грузов, в том числе длинномерные, тяжеловесные и крупногабаритные.

Abstract. In this paper, we consider new-generation wagons, the so-called innovative wagons, which have improved technical characteristics, such as increased load capacity, volume, and inter-repair run times. These wagons are capable of transporting various types of cargo, including long, heavy and bulky.
Ключевые слова: инновационные вагоны, грузоподъемность, жизненный цикл вагона, межремонтный пробег, транспортировка.
Key words: innovative wagons, load capacity, wagon life cycle, inter-repair mileage, transportation.

В последние годы количество инновационных вагонов в России увеличилось в несколько раз. Уникальностью вагонов нового поколения являются улучшенные их технические характеристики, позволяющие уменьшить расходы на перевозки и повысить эффективность транспортировки грузов.

Так же увеличение количества инновационных вагонов связано с тем, что существует проблема порожних пробегов вагонов. Основная причина кроется в разнообразии перевозимых грузов, для которых соответственно нужны разные типы вагонов. В идеальном варианте на станции выгрузки должен быть загружен следующий груз, но не всегда он есть в это время на станции, поэтому вагоны следуют пустыми до следующей станции, либо происходит простой подвижного состава в ожидании загрузки. На сегодняшний момент существуют вагоны нового поколения, позволяющие перевозить разнообразные грузы [1]. В данной работе рассматриваются следующие виды вагонов: вагон для перевозки металлургических грузов, полувагон с разгрузочными люками, вагон для перевозки щепы, вагоны-хопперы и многофункциональный вагон модели 11-2151.

Основное отличие новых вагонов заключается в повышенной грузоподъемности. Нагрузка тележки составляет 25 тс, грузоподъемность вагона увеличилась с 69 тонн до 75 – 77, соответственно данные вагоны перевозят больше груза на 7 – 10 %.

Так же к отличиям можно отнести увеличение межремонтного пробега, который увеличился почти в два раза со 160 – 200 тысяч км до 500 тысяч км, что приведет к увеличению жизненного цикла вагона с 22 лет до 32.

Применение инновационных вагонов уменьшает расходы ОАО «РЖД» на содержание магистралей, так как эти вагоны имеют меньшее воздействие на железнодорожные пути [2]. В России существует несколько компаний, занимающихся выпуском инновационных вагонов: АО «НПК «Уралвагонзавод», ПАО «НПК «Объединенная вагонная компания», ОАО «Алтайвагон» и «РМ Рейл».

Например, компания «Уралвагонзавод» производит для металлургических предприятий вагоны-платформы модели 23-5994, которые предназначены для транспортировки металлургических грузов, в том числе слитков горячего чугуна. Перевозка в новых вагонах обеспечивает непрерывный процесс производства, так как чугун перевозят в горячем виде и не нужно ждать его остывания. Так же эти вагоны имеют более высокую грузоподъемность, чем их аналоги (рисунок 1).

НПК «Объединенная вагонная компания» производит инновационные вагоны для различных видов грузов. Полувагон с разгрузочными люками сочлененного типа модели 12-6877-02 предназначен для транспортировки грузов различной плотности. Преимуществом полувагона является повышенная грузоподъемность и увеличенный объем кузова. Грузоподъемность полувагона составляет 114 тонн, объем кузова – 142 м^3 (рисунок 2).



Рисунок 1 – Вагон-платформа модели 23-5994



Рисунок 2 – Полувагон с разгрузочными люками модели 12-6877-02

Данный полувагон состоит из двух секций, которые соединяются специальным устройством, обеспечивающим прохождение криволинейных участков пути без препятствий. Для транспортировки щепы НПК «Объединенная вагонная компания» производит полувагоны модели 12-6995. Объем кузова в данной модели увеличен до 211 кубических метров, а грузоподъемность до 70 тонн, это больше на 15 тонн, чем у аналогичных моделей [3].

За счет увеличения грузоподъемности происходит экономия в подвижном составе примерно до 20 %. Увеличение межремонтных пробегов до 1000 тыс. км приводит к снижению стоимости жизненного цикла вагона. Боковые поверхности кузова имеют люки, это создает удобство для очистки после разгрузки. «Объединенная вагонная компания» производит вагоны-хопперы для перевозки зерна, минеральных удобрений и цемента (рисунок 3).



Рисунок 3 – Вагоны-хопперы

Все вагоны имеют увеличенную грузоподъемность и сроки межремонтных пробегов, обеспечивающие снижение в 3 раза жизненного цикла вагона. Так же в этих вагонах применяются новые устройства блокировки в механизмах запирания люков и используется меньшее количество пломб, что увеличивает скорость обработки вагона. Компании АО «Алтайвагон» и ООО «ИнтерТрансКарго» совместно разработали и изготовили инновационный многофункциональный вагон модели 11-2151, в котором можно перевозить различные виды грузов и сократить порожние пробеги вагонов (рисунок 4).



Рисунок 4 – Вагон модели 11-2151

Данная модель вагона состоит из двух секций объемом 230 м^3 и грузоподъемностью 93 тонны. Уникальность этого вагона состоит в том, что крыша вагона открывается в обе стороны с помощью электропривода и за счет этого вагон превращается в фитинговую платформу или полувагон. В вагоне встроены фитинги и направляющие, позволяющие загружать контейнеры (четыре 20-футовых контейнера или два 40-футовых).

За счет открывающейся крыши в вагон можно загрузить длинномерные, тяжеловесные и крупногабаритные грузы. В целом использование инновационных вагонов сокращает потребный парк подвижного состава, увеличивает весовую норму, повышает эффективность перевозок и обеспечивает увеличение пропускной способности железнодорожной сети. Преимущества эксплуатации вагонов нового поколения для операторов: до 5 раз снижается частота ремонта, в 2-3 раза снижается стоимость жизненного цикла вагона, до 50 % растет доходность. Преимущества для грузоотправителей: до 20 % снижается стоимость перевозки, в 2 раза растет грузооборот вагона и увеличивается до 20 % вывоз продукции тем же количеством вагонов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бороненко, Ю. П. Инновационный грузовой подвижной состав железных дорог и его высокотехнологичное производство / Ю. П. Бороненко // Наука и транспорт. – 2012. – № 3. – С. 18-20.

2. Лапидус, Б. М. Стратегические тренды развития железнодорожного транспорта / Б. М. Лапидус // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2015. – № 6. – С. 2-9.

3. Параметры инновационных вагонов и некоторые проблемы их реализации / В. Н. Филиппов, А. В. Смольянинов, И. В. Козлов, Я. Д. Подлесников // Транспорт Урала. – 2017. – № 1 (52). – С. 25-31.

УДК 656.7

Стёпина Ксения Александровна, аспирант 2 курса, Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА)
Stepina Ksenia Alexandrovna, 2nd year postgraduate student, Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU CA)
Наумова Татьяна Владимировна, доктор философских наук, доцент, процессор кафедры безопасности полётов и жизнедеятельности, Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА)
Naumova Tatiana Vladimirovna, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Processor of the Department of Flight Safety and Vital Activity, Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTU CA)

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РОССИЙСКИХ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЁТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

PROBLEMS OF ORGANIZATION OF AFTER-SALES SERVICE OF NEW GENERATION RUSSIAN CIVIL AIRCRAFT

Аннотация. Рассматривается послепродажное обслуживание как процесс, обеспечивающий эксплуатационный этап жизненного цикла воздушного судна. Выделены основные проблемы организации послепродажного обслуживания гражданских самолетов в условиях санкций. Рассмотрена методология интегрированной логистической поддержки послепродажного обслуживания, выделены ее компоненты и функции, а также сформулированы основные задачи. Систематизированы наиболее существенные трудности внедрения интегрированной логистической поддержки в контексте задачи совершенствования послепродажного обслуживания отечественных гражданских самолетов нового поколения.
Abstract. After-sales service is considered as a process that ensures the operational stage of the aircraft life cycle. The main problems of the organization of after-sales service of civil aircraft in the context of sanctions are highlighted. The methodology of integrated logistics support for after-sales services is considered, its components and functions are highlighted, and the main tasks are formulated. The most significant difficulties of implementing integrated logistics support in the context of the task of improving the after-sales service of new-generation domestic civil aircraft are systematized.
Ключевые слова: послепродажное обслуживание, интегрированная логистическая поддержка, гражданское авиастроение, жизненный цикл изделия, эксплуатация воздушных судов.
Key words: after-sales service, integrated logistics support, civil aircraft industry, product life cycle, aircraft operation.

На современном этапе развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации наблюдается ряд критических проблем, связанных с эксплуатацией коммерческих воздушных судов. Авиационная отрасль является наиболее уязвимым элементом индустрии, на которое сильно влияют ограничительные меры. Многие годы отечественная авиация интегрировала в себя международные стандарты и практики. Так и система послепродажного обслуживания самолётов складывалась исходя из опыта зарубежных мировых гигантов. В условиях санкций возникли сложности в обеспечении послепродажного обслуживания самолётов, например, прекратился импорт запасных частей, ограничился доступ к ремонтной и эксплуатационной документации, ослаб информационный обмен между разработчиками

и эксплуатантами. Целью данного исследования является выявление проблем при организации послепродажного обслуживания гражданских воздушных судов (ВС), возможные пути нивелирования данных проблем для обеспечения эффективной и бесперебойной эксплуатации воздушных судов. В настоящее время специалисты довольно серьезно занимаются развитием отечественной системы послепродажного обслуживания, поскольку эта задача является одной из основных направлений развития государственной комплексной программы гражданской авиации, которая курируется на уровне Правительства России.

Современное воздушное судно предполагает длительный период эксплуатации. Поддержание летной годности, требуемых критериев безопасности и надежности в процессе послепродажного обслуживания сопровождается внушительными финансовыми и материальными затратами, которые становятся решающим фактором при приобретении самолета эксплуатантом.

Послепродажное обслуживание авиационной техники (ППО) представляет собой комплекс мероприятий, которые направлены на оказание покупателю дополнительных товаров и услуг для максимально эффективного и оптимального использования купленной продукции. Ключевые сферы деятельности в области послепродажного обслуживания визуализированы на рисунке 1.

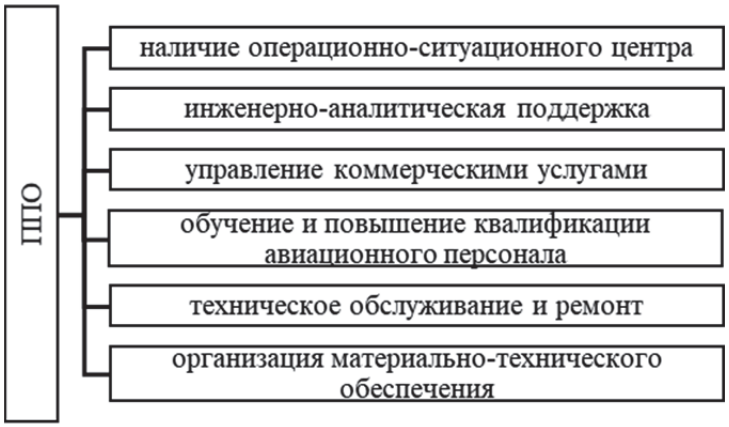


Рисунок 1 – Основные направления деятельности ППО

На текущем этапе развития российской авиационной отрасли главной трудностью отечественных производителей воздушных судов и их комплектующих изделий является недостаточный объём выпуска продукции, что в совокупности с существенными затратами на разработку и исследования препятствует достижению желаемого уровня рентабельности предприятий. Серьёзным препятствием для создания и успешного функционирования системы ППО отечественных воздушных судов гражданской авиации стал ввод санкций в 2022 году. Государства Евросоюза, США и Канада ввели ограничительные меры в отношении поставки и ремонта компонентов воздушного судна, которые используются как в составе иностранных ВС, так и в составе отечественных самолётов [1]. В настоящее время ППО гражданских воздушных судов находится в переходном состоянии: идёт смена подходов в техническом обслуживании – с регламентов, использовавшихся на устаревших отечественных воздушных судах, на обновленные регламенты, которые действуют на современных отечественных самолётах [2]. Российскими специалистами предпринимаются определенные усилия для создания концептуальных основ ППО гражданских воздушных судов. Современная тенденция показывает превалирование стоимости эксплуатации техники над стоимостью её приобретения. Перспективы послепродажного обслуживания связывают с реализацией методологии интегрированной логистической поддержки (ИЛП). Интегрированная логистическая поддержка – это комплекс работ, выполняемых на всех стадиях жизненного цикла для оптимизации затрат. ИЛП влияет и на процесс проектирования изделия с целью определения условий протекания эксплуатационных стадий жизненного цикла изделия [3]. В структуре ИЛП можно выделить: информационную среду как интеграцию баз данных, обеспечивающих коммуникацию участников ИЛП воздушных судов на всем жизненном цикле (информационное обеспечение ИЛП); программные средства, обес-

печивающие автоматизацию и управление процессов ИЛП (программное обеспечение ИЛП); аппаратно-технические средства (автоматизированные рабочие места, защищённые глобальные компьютерные сети, локальные вычислительные сети).

Основными задачами ИЛП в аспекте ППО являются:

1) проведение анализа логистической поддержки, формирование баз данных;

разработка эксплуатационной документации в виде интерактивных электронных технических руководств;

2) разработка электронной документации на самолёт в виде электронной эксплуатационной документации на самолёт;

3) разработка информационной системы обеспечения технической эксплуатации с целью автоматизации процессов технического обслуживания и ремонта, материально-технического обеспечения и мониторинга логистических данных;

4) мониторинг технического состояния самолётов, их технической эксплуатации и обслуживания;

5) разработка мероприятий по выявленным проблемам.

Таким образом, ИЛП является неотъемлемой частью системы послепродажного обслуживания самолётов, обеспечивающей их эффективную эксплуатацию на протяжении всего жизненного цикла, и определяющей движение материальных и информационных потоков. По некоторым оценкам внедрение системы ИЛП снижает затраты на стоимость жизненного цикла самолета на 25% [4].

Первым проектом организации системы послепродажного обслуживания, отвечающей современным запросам, стал самолёт SSJ-100. Однако, уже на первых этапах его эксплуатации начали проявляться определенные сложности. Согласимся с исследователями проблематики ППО в том, что внедрение технологий интегрированной логистической поддержки затруднено [5]. Это обусловлено следующими аспектами:

1) организационными, например, неэффективные формы организации работы, дефицит квалификационных сотрудников;

2) информационными, например, хранение большинства информации на бумажных носителях, отсутствие достаточного и полного обмена информацией между участниками жизненного цикла изделия;

3) нормативными, например, несвоевременная актуализация нормативных документов, в том числе отраслевых стандартов, сложности с интеграцией международных требований в отечественное нормативно-правовое поле;

4) техническими, например, проблемы с материально-техническим обеспечением, техническим обслуживанием и ремонтом;

5) экономическими, например, недостаточное предложение отечественных технологий, зависимость от импортных компонентов и программного обеспечения.

Трудности внедрения ИЛП также приводят к ряду проблем ППО гражданских самолётов нового поколения, обусловленных сложившейся геополитической обстановкой и спецификой российской промышленности и логистики: трансформация логистических цепочек поставщиков и производителей запасных частей, с учётом применяемых западными странами санкционных ограничений в отношении поставок в Россию авиационных компонентов и запасных частей; увеличение простоев воздушных судов при осуществлении ремонтов определённых типов компонентов и запасных частей с учётом внешних санкционных ограничений; идентификация запасных частей и комплексов обслуживания для обеспечения лётной годности воздушных судов с позиции гражданского или военного назначения (в большей степени применимо к российской гражданской авиационной технике, эксплуатирующейся за рубежом); дополнительные затраты на подготовку специалистов, занимающихся обслуживанием гражданских воздушных судов нового поколения [2] . Несмотря на перечисленные проблемы, в последнее время наблюдается положительная динамика – разрабатывается нормативная и методологическая база, создаются адаптированные под российские условия решения, внедряются современные информационные технологии. В статье проведён анализ состояния современной системы послепродажного обслуживания воздушных судов России, выявлены основные проблемные аспекты. Выявлена необходи-

мости внедрения в систему ППО интегрированной логистической поддержки, поскольку ИЛП является своего рода информационной платформой для поддержания взаимосвязи между всеми участниками жизненного цикла воздушного судна и его компонентов. Отмечена и положительная динамика, в условиях необходимости развития и становления системы ППО государство оказывает необходимые меры, в том числе и финансовые, для поддержания специалистов в вопросах разработки отечественной системы ППО гражданских воздушных судов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глазкова, И. С. Влияние санкций на гражданскую авиацию России / И. С. Глазкова, Ж. С. Беляева // Весенние дни науки: сборник докладов Международной конференции студентов и молодых ученых (Екатеринбург, 21-23 апреля 2022 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2022. – С. 204-207.

2. Стёпина К.А., Наумова Т.В. Отечественный опыт послепродажного обслуживания гражданских воздушных судов: проблемные аспекты//Наука. Техника. Человек: исторические, мировоззренческие и методологические проблемы. 2023. Т. 1. № 13. С. 370-374.

3. Судов, Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения / А.И. Левин, А.В. Петров, Е.В. Чубарова. – М.: ООО «Издательский дом «Иноформбюро», 2006. – 232 с.

4. Полищук Н. В. Интегрированная логистическая поддержка и стоимость жизненного цикла воздушного судна // ТДР. 2017. №4. С.112-116.

5. Абрамов, Б.А. Проблемы создания системы послепродажного обслуживания самолётов на основе интегрированной логистической поддержки / Б. А. Абрамов, Е.Р. Абрамова // Научный вестник МГТУ ГА. 2009. – №141. – С. 56-59.

УДК 621.311.22

Слепченко Александр Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Slepchenko Alexandr Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Шаломов Вячеслав Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Shalomov Vyacheslav Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the department “Thermal power plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СПОСОБА ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ КОМСОМОЛЬСКОЙ ТЭЦ-2

JUSTIFICATION AND CHOICE OF THE METHOD OF TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF KOMSOMOLSKAYA TPP-2

Аннотация. В статье сделан краткий обзор состояния оборудования Комсомольской ТЭЦ-2. Предложены варианты технического перевооружения, включая такие варианты, как полная замена оборудования. Также рассмотрена перспективная отечественная газотурбинная установка, которая может использоваться при надстройке газотурбинных блоков на тепловые станции с поперечными связями.
Abstract. The article provides a brief overview of the equipment condition of Komsomolskaya TPP-2. Technical upgrade options are proposed, including options such as complete equipment replacement. A promising domestic gas turbine installation has also been considered, which can be used in the superstructure of gas turbine units in thermal power plants with cross-links.
Ключевые слова: газотурбинные и парогазовые установки, тепловые электрические станции, техническое перевооружение, мощность.
Key words: gas turbine and combined-cycle gas installations, thermal power plants, technical re-equipment, power.

Одна из основных проблем, которая стоит перед современной энергетикой, это нарастающий процесс старения оборудования тепловых электростанций. К 2025 году множество действующих установок исчерпало свой проектный ресурс, а до половины из их числа исчерпали и парковый ресурс. В связи с этим актуальным становится вопрос о рассмотрении вариантов технического перевооружения оборудования электростанций. Комсомольская ТЭЦ-2 – тепловая станция, расположенная в г. Комсомольск-на-Амуре. Основное оборудование станции морально и физически устарело, а его назначенный ресурс неоднократно продлевался. Проект выбранного варианта технического перевооружения может быть разработан отечественной организацией ОАО «Институт Теплоэлектропроект», которая подготовила проекты для 80% энергетических мощностей России и республик бывшего СССР, и разработала проект самого эффективного парогазового блока в России с КПД нетто 56% [1]. Цель работы – рассмотреть возможные пути и способы технического перевооружения основного оборудования Комсомольской ТЭЦ-2 и осуществить выбор приемлемого решения по модернизации очередей паротурбинных установок электростанции.

Комсомольская ТЭЦ-2 – тепловая электростанция, предназначенная для выработки тепловой и электрической энергии. Эксплуатация станции началась в 1935 году вместе с запуском турбоагрегата мощностью 3 МВт для нужд судостроительного завода. Затем в 1939 была введена в эксплуатацию очередь 33 ата, мощность которой достигла 30 МВт. В 1964 году было запущено оборудование очереди 100 ата, мощность станции увеличилась до 109 МВт. И в 1970 году было закончено строительство очереди 140 ата, и станция достигла своей проектной мощности.

На текущий момент установленная электрическая мощность – 197,5 МВт, установленная тепловая мощность – 545 Гкал/ч. Комсомольская ТЭЦ-2 – станция с поперечными связями. Оборудование разделено на две очереди: 100 ата и 140 ата. Очередь 100 ата включает в себя 3 котлоагрегата (далее – КА) БКЗ 160-100Ф, турбоагрегат (далее – ТА) Т-27,5-90, ТА ПТ-60-90/13. Очередь 140 ата включает в себя 4 КА БКЗ 210-140Ф и 2 ТА Т-55-130. Очередь 33 ата была выведена из эксплуатации 01.01.2013 г. Так как основное оборудование станции выработало свой парковый ресурс, то острым становится вопрос о его замене. В предшествующие годы предлагалось несколько вариантов технического перевооружения Комсомольской ТЭЦ-2. Рассмотрим основные из них:

1) реконструкция паросиловых установок в существующем здании. Этот вариант предполагает замену действующего оборудования на один ТА ПТ-65-130/13, два ТА Т-60/65-130, 5 КА Е 210-140, 2 водогрейных КА ПТВМ-100. В таком случае установленная мощность станции составит 195 МВт, тепловая мощность – 620 Гкал/ч;

2) строительство новой ТЭЦ с паросиловыми установками. Данный вариант предполагает строительство нового корпуса на территории Комсомольской ТЭЦ-2. Состав основного оборудования в таком случае будет соответствовать варианту 1;

3) строительство новой ТЭЦ с газотурбинными установками. В данном случае предлагается строительство нового корпуса. Новый состав оборудования: два ТА ГТЭ-110М, два водогрейных котла-утилизатора (далее – КУ), 2 КА ТТ-200, 3 водогрейных КА ПТВМ-180. При таком составе оборудования установленная мощность электростанции составит 220 МВт, тепловая мощность – 852 Гкал/ч;

4) надстройка газотурбинной установки (далее – ГТУ) с КУ на действующее оборудование. При этом варианте ожидается рост установленной мощности на 65 МВт.

Далее будет рассмотрен такой вариант технического перевооружения, как надстройка ГТУ-КУ. Этот вариант выбран потому, что он позволяет сократить капитальные затраты при реконструкции станции на 30-40% [2], ГТУ актуальна для Комсомольской ТЭЦ-2, так как на станции в качестве основного топлива используется не только уголь, но и природный газ. Дополнительный пар, полученный в КУ, может быть использован как для выработки электрической мощности в паротурбинных установках, так и для подогрева сетевой воды в бойлерной третьей очереди.

Так как оборудование очереди 100 ата было раньше введено в эксплуатацию, надстройка ГТУ-КУ будет рассматриваться для этой очереди. Простейшая тепловая схема третьей очереди с надстройкой ГТУ-КУ представлена на рисунке 1.

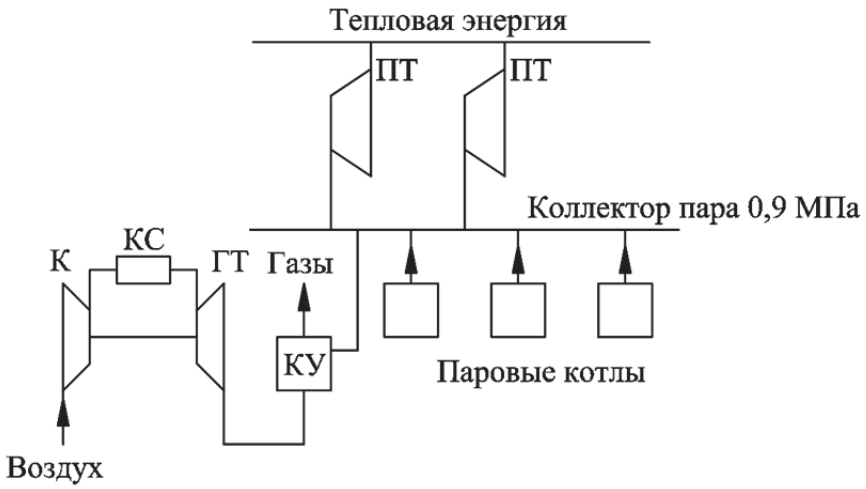


Рисунок 1 – Простейшая тепловая схема третьей очереди с надстройкой ГТУ-КУ:
ПТ – паровая турбина; К – компрессор; КС – камера сгорания;
ГТ – газовая турбина; КУ – котёл-утилизатор.

В качестве ГТУ можно выбрать ГТЭ-65. ГТУ F-класса ГТЭ-65 представляет собой одновальный агрегат, предназначенный для привода турбогенератора и способный нести базовую, полупиковую и пиковую нагрузку как автономно, так и в составе парогазового блока. На рисунке 2 представлен продольный разрез ГТУ.

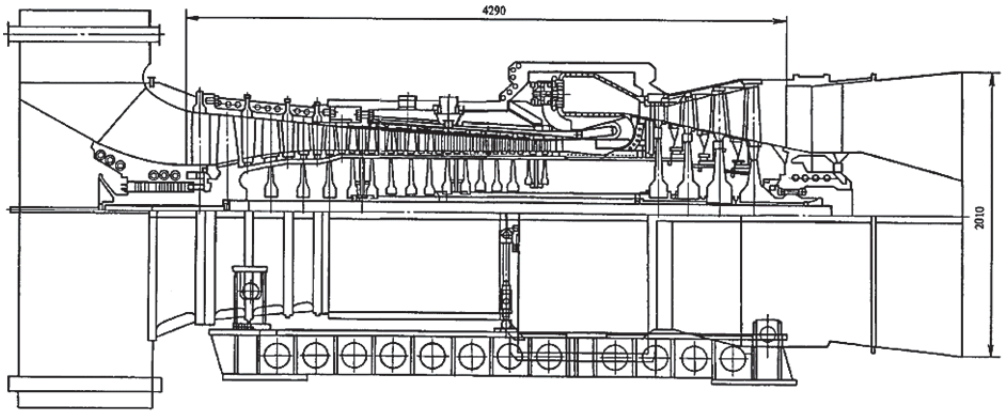


Рисунок 2 – Продольный разрез газотурбинной установки ГТЭ-65

Турбина ГТЭ-65 – четырехступенчатая, с осевым выхлопом. Все лопатки турбины, кроме четвертой рабочей, охлаждаемые. Сопловые и рабочие лопатки первой ступени имеют конвективно-плёночную систему охлаждения с выпуском охлаждающего воздуха на профиль пера и в выходную кромку, а в лопатках второй и третьей ступеней используется только конвективное внутреннее охлаждение [3]. Установка выполнена по двухопорной схеме. Привод турбогенератора ТЗФГ-63-2М, изготовленного предприятием «Электросила» (филиал ОАО «Силовые машины»), осуществляется через редуктор (завод «Киров-Энергомаш») [4].

В ходе работы были рассмотрены основные технические характеристики Комсомольской ТЭЦ-2. Так как основное оборудование электростанции имеет выработанный парковый ресурс, пониженную установленную электрическую и теплофикационную мощность, то в соответствии с поставленной целью был предложен способ технического перевооружения, заключающийся во внедрении надстройки ГТУ-КУ в тепловую схему третьей очереди ПТУ. Выбор этого способа модернизации ПТУ позволит с наименьшими затратами и в кратчайшие сроки добиться повышения электрической мощности станции без демонтажа действующего оборудования. В качестве надстройки выбрана новейшая газотурбинная установка ГТЭ-65. Одним из преимуществ данной установки является её изготовление отечественным предприятием ОАО «Силовые машины». Это исключает негативное влияние санкций со стороны западных стран в период эксплуатации и обслуживания ГТУ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ольховский, Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки сегодня / Электрические станции. – 2015. - №1. С. 73-78. - ISSN 0201-4564.

2. Салихов, А.А. Критерии сравнения вариантов строительства и модернизации объектов теплоэнергетики / Промышленная энергетика. – 2014. – №5. С. 9-12. - ISSN 0033-1155.

3. Лебедев, А.С. Охлаждаемый лопаточный аппарат высокотемпературной турбины энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 среднего класса мощности / А.С. Лебедев, Ю.М. Сундуков, В.В. Кривоносова // Теплоэнергетика. – 2007. - №1. – С. 57-60. - EDN: IBOKFB.

4. Лебедев, А.С. Энергетическая газотурбинная установка среднего класса мощности ГТЭ-65: конструкция и производство / А. С. Лебедев, И. С. Варламов, М. В. Росляков // Электрические станции. – 2007. – №1. – С. 19-22. - EDN: JWIKTL.

УДК 539.3

Тхет Лин, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Htet Lin, postgraduate, Komsomolsk-na-Amure State University
Андрианов Иван Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Andrianov Ivan Konstantinovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Laboratory “Aircraft industry”, Komsomolsk-na-Amure State University
Феоктистов Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Feoktistov Sergey Ivanovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Researcher, Komsomolsk-na-Amure State University

ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ АВТОФРЕТИРОВАНИИ

APPROACHES TO DESCRIPTION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF CYLINDRICAL SHELLS DURING HYDRAULIC AUTOFRETTAGE

Аннотация. В исследовании рассмотрены методы описания деформирования толстостенных оболочек в процессе гидравлического автофретирования с применением положений деформационной теории пластичности и теории пластического течения. Предложен подход к расчету напряженно-деформированного состояния оболочек на основании метода переменных параметров упругости, позволяющего учитывать сжимаемость материала и нелинейные модели схематизации диаграмм деформирования материала.

Abstract. The study considers approaches to describing the deformation of thick-walled shells in the process of hydraulic autofrettage using the provisions of the deformation theory of plasticity and the theory of plastic flow. An approach to calculating the stress-strain state of shells based on the method of variable elasticity parameters is proposed, which allows taking into account the compressibility of the material and nonlinear models of schematization of material deformation diagrams.

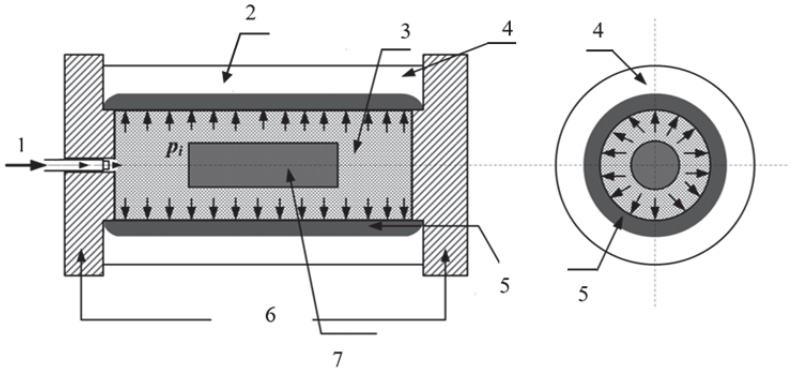
Ключевые слова: гидравлическое автофретирование, толстостенная оболочка, метод переменных параметров упругости

Key words: hydraulic autofrettage, thick-walled shell, variable elasticity method

Автофретирование является распространенным способом повышения прочности толстостенных оболочек высокого давления путем создания благоприятных остаточных напряжений в стенке оболочки, которые повышают ее несущую способность. В процессе автофретирования оболочка подвергается определенному предварительному внутреннему или внешнему давлению, в результате которого переходит в область пластического дефор-

мирования. Затем давление автофретирования снимается, и возникшие остаточные напряжения приводят к снижению максимальных напряжений при эксплуатации. В зависимости от характера приложения нагрузки выделяют следующие виды процесса автофретирования [1]: гидравлическое автофретирование, механическое автофретирование дорном, взрывное автофретирование, ротационное автофретирование, температурное автофретирование. Гидравлическое автофретирование является одним из наиболее традиционных и широко применяемых методов автофретирования в производственной сфере, что обуславливает актуальность его исследования. В рамках данной работы требовалось рассмотреть основные подходы к описанию процесса гидравлического автофретирования и выбору метода расчета напряженно-деформированного состояние оболочек в процессе автофретирования.

Гидравлическое автофретирование стало применяться в производственной сфере одним из первых. Схема реализации процесса гидравлического автофретирования трубы представлена на рисунке 1. При гидравлическом автофретировании толстостенная цилиндрическая оболочка, как правило, подвергается воздействию внутреннего высокого гидростатического давления, при котором эквивалентное напряжение на внутренней стенке цилиндра превосходит предел текучести материала. При этом некоторая внутренняя область цилиндра переходит в стадию пластического деформирования, а внешняя область остается в упругом состоянии. После снятия гидравлического давления во внутренних слоях возникает поле сжимающих остаточных напряжений, которое оказывает благоприятное влияние на эксплуатационные характеристики материала, в частности, возрастает предельное рабочее давление. Касаемо применяемых теоретических моделей гидравлического автофретирования, большинство из них были сформулированы на основании деформационной теории пластичности или теории пластического течения. В частности, аналитическая модель автофретирования для случая плоской деформации, основанная на деформационной теории пластичности, приведена в работе [2], где рассмотрены деформационное упрочнение материала, эффект Баушингера, критерий текучести Мизеса и условие несжимаемости материала. Некоторыми исследователями также были предложены аналитические модели с использованием теории пластического течения, которые в большинстве случаев основывались на критерии текучести Треска с использованием идеальной упругопластической модели материала.



1 – вход масла; 2 – цилиндр; 3 – гидравлическое масло; 4 – упругая зона; 5 – зона пластической деформации; 6 – торцевые пробки; 7 – твердая вставка

Рисунок 1 – Схема процесса гидравлического автофретирования давлением [1]

Численные модели гидравлического автофретирования в большинстве своем приводятся в формулах, основанных на теории пластического течения с использованием изотропной или кинематической модели упрочнения материала. В работе [3] была предложена модель деформирования для цилиндра с закрытыми концами при различных критериях текучести Треска и Мизеса. К численным методам, основанным на деформационной теории пластичности, можно отнести метод переменных свойств материала, который изначально был предложен в работе [4] для определения упругопластических деформационных напряжений в толстостенном цилиндре под внутренним давлением. Согласно данному методу цилиндр был разделен на конечные области, в пределах которых свойства материала рассматривались как переменные, а деформирование в каждой области рассматривалось как псевдоупругое. Данный метод позволяет учитывать линейные и нелинейные свойства

упрочнения. Исследователями в последние годы также широко используется метод конечных элементов для моделирования поведения материала или для подтверждения достоверности разработанных численных моделей. Большинство моделей на основании метода конечных элементов построено с использованием критерия текучести Мизеса. В работе [5] проводилось конечно-элементное моделирование автофретирования толстостенного цилиндра с учетом реальной диаграммы деформирования материала А723.

Согласно проведенному анализу наиболее подходящим для описания напряженно-деформированного состояния оболочек в процессе гидравлического автофретирования представляется метод переменных параметров упругости. Расчёт напряженно-деформированного состояния толстостенных цилиндрических оболочек в этом случае предлагается проводится на основании положений деформационной теории пластичности путем совместного решения уравнения равновесия и уравнения совместности деформаций в координатах Эйлера в виде интегральных уравнений в соответствие с методом переменных параметров упругости. Данный метод позволяет весьма эффективно решать осесимметричные задачи и определять напряжённо-деформированное состояние при любой аппроксимации и схематизации диаграмм деформирования. Предложенный метод позволит обеспечить полное упругопластическое решение процесса гидравлического автофретирования оболочки. Использование метода при расчёте упругопластического состояния толстостенных оболочек в процессе автофретирования также позволяет учитывать сжимаемость материала, что значительно снижает погрешность вычислений, решать задачи нелинейного пластического деформирования с подвижной границей, что значительно влияет на точность расчётов. В рамках проведенного исследования рассмотрены существующие аналитические и численные подходы к описанию деформирования толстостенных цилиндрических оболочек в процессе гидравлического автофретирования на основании положений деформационной теории пластичности и теории пластического течения. Предложен подход для расчета картины напряжений и деформаций в стенке оболочки при упругопластическом деформировании в процессе гидравлического автофретирования на основании метода переменных параметров упругости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shufen R. A review of theoretical and experimental research on various autofrettage processes / R. Shufen, U. S. Dixit // Pressure Vessel Technol. – 2018. – V. 140(5) [URL: https://www.semanticscholar.org/paper/A-Review-of-Theoretical-and-Experimental-Research-Shufen-Dixit/1f683c10b16e919cd2c8d58be05e72a779825015 (дата обращения: 01.03.2025)]

2. Huang X. P. A General autofrettage model of a thick-walled cylinder based on tensile-compressive stress-strain curve of a material / X. P. Huang // The Journal of Strain Analysis for Engineering Design. – 2005. – № 40(6), pp. 599–607.

3. Rees D. W. A Theory of autofrettage with applications to creep and fatigue / D. W. Rees // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – 1987. – № 30 (1). – pp. 57–76.

4. Jahed H. 1997, A Variable Material Property Approach for Solving Elastic-Plastic Problems / H. Jahed, R. Sethuraman, R. N. Dubey // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – 1997. – № 71 (3). – pp. 285–291.

5. Implementing realistic, nonlinear, material stress–strain behavior in Ansys for the autofrettage of thick-walled cylinders / M. C. Gibson, A. P. Parker, A. Hameed, J. G. Hetherington // J. Pressure Vessel Technol. – 2012. – № 134(5). – pp. 051202-051207.

УДК 629.7.02

Федоров Виталий Евгеньевич, инженер-конструктор, ОГК, Филиал ПАО «ОАК» – «КнААЗ им. Ю.А.Гагарина»

Fedorov Vitaly Evgenievich, design engineer, Department of the chief designer, Branch of PJSC «UAC» – «KnAAZ named after. Yu.A. Gagarin»

Потянихин Дмитрий Андреевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Potianikhin Dmitrii Andreevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-on-Amur

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ФИКСАЦИИ КРОНШТЕЙНА ГИДРОЦИЛИНДРА ПРИ СБОРКЕ КЕССОНА В СТАПЕЛЕ

DESIGN OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR FIXING A HYDRAULIC CYLINDER BRACKET DURING ASSEMBLY OF A CAISSON IN A STYLE

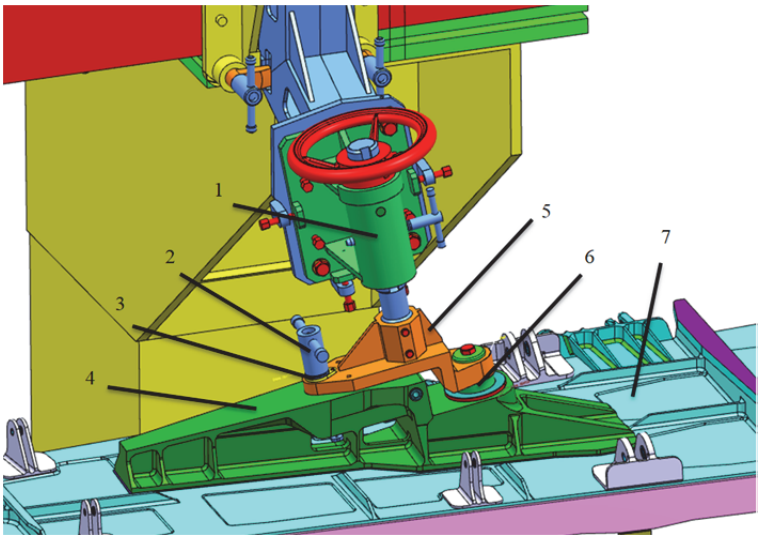
Аннотация. На фоне импортозамещения, проходит конструкторско-технологическая проработка конструкции самолета SJ-100, в частности была изменена конструкция кронштейна гидроцилиндра уборки-выпуска основной опоры шасси. Для ввода конструктивного изменения в действие была спроектирована фиксация кронштейна гидроцилиндра для сборки кессона отъемной части крыла в стапеле, а также выполнен проверочный расчет методом конечных элементов в программном комплексе инженерного анализа ANSYS.
Abstract. Against the backdrop of import substitution, design and technological development of the SJ-100 aircraft design is underway, in particular, the design of the main landing gear retraction/extension hydraulic cylinder bracket was changed. To put the design change into effect, a fixation of the hydraulic cylinder bracket for assembling the detachable wing box in the frame was designed, and a verification calculation was performed using the finite element method in the ANSYS engineering analysis software package.
Ключевые слова: компьютерное моделирование, сборочные приспособления, прочность, жесткость
Key words: computer modeling, assembly fixtures, strength, rigidity

В рамках импортозамещения гражданской продукции отечественной авиастроительной отрасли производится непрерывное совершенствование существующих технологий. Так, в частности, при внедрении в производство нового кронштейна гидроцилиндра появилась необходимость в доработке стапеля, а именно, потребовалось спроектировать оборудование для фиксации кронштейна гидроцилиндра уборки-выпуска основной опоры шасси самолета при сборке. Целью данной работы является проектирование технологической оснастки, которая будет позволять выполнить сборку кессона под заданные технические требования. Также был выполнен методом конечных элементов проверочный расчёт в программе ANSYS на прочность и жесткость для спроектированной оснастки.

Актуальность данной работы заключается в том, что современное авиастроение требует постоянного повышения эффективности и надежности производственных процессов, особенно при изготовлении ключевых компонентов конструкции самолета, таких как группа шасси [1].

Фиксация кронштейна гидроцилиндра

На рисунке 1 продемонстрирована трехмерная модель технологической оснастки для фиксации кронштейна гидроцилиндра на стенке лонжерона. Кронштейн 5 поднимается в максимальное верхнее положение с помощью подъёмного механизма 1. Кронштейн гидроцилиндра 4 устанавливается на стенку лонжерона 7. Отверстие кронштейна гидроцилиндра совмещается с втулкой 6 и фиксацию опускают в нижнее положение до контакта с кронштейном. Устанавливается фиксатор зажимной 2 через втулку эллипсную 3 (эллипс втулки позволяет компенсировать неточность в изготовлении технологической оснастки, кронштейна гидроцилиндра и установленной в нем втулки). Производится контроль базирования с помощью лазерно-центрирующих устройств (трекера).



1 – подъемный механизм; 2 – фиксатор зажимной; 3 – втулка эллипсная; 4 – кронштейн гидроцилиндра; 5 – кронштейн; 6 – втулка; 7 стенка лонжерона

Рисунок 10 – Фиксация кронштейна гидроцилиндра

Для оценки пригодности спроектированной фиксации был выполнен анализ напряженно-деформированного состояния [2]. При расчете предполагалось, что кронштейн нагружен собственным весом и весом стенки лонжерона (рисунок 2). Механические свойства материалов технологической оснастки приведены в таблице 1. Стенка лонжерона выполнена из сплава 1163Т, кронштейн гидроцилиндра – из поковки ВТ6ч.

Таблица 1 – Механические свойства материалов технологической оснастки

Деталь	Материал	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_т$, МПа
Кронштейн	Ст3	450	235
Втулка	30ХГСА	1080	830
Втулка эллипсная	30ХГСА	1080	830

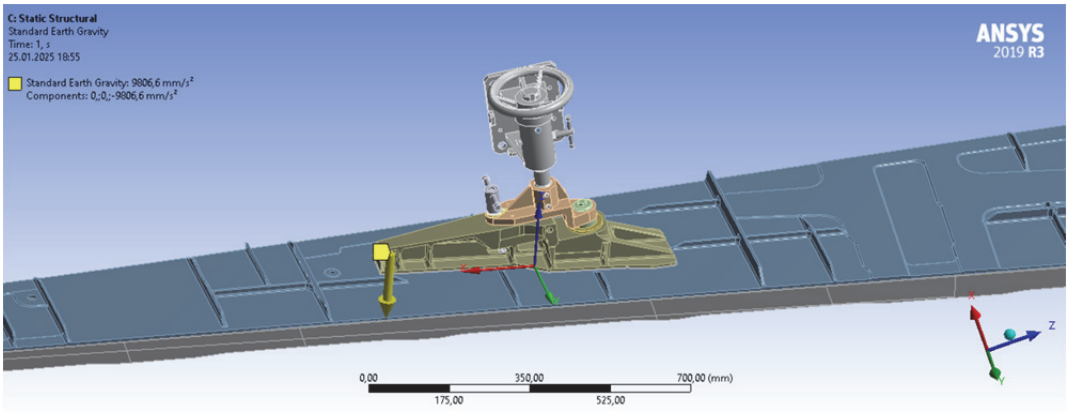


Рисунок 11 – Расчетная модель для фиксации кронштейна гидроцилиндра

В результате проверочного анализа максимальные перемещения (рисунок 3) кронштейна гидроцилиндра составили 28 мкм. Это значение при технических требованиях на отклонение осей отверстий кронштейнов навески шасси на лонжерон 2 по дистанции $\pm$0,3 мм является допустимым [3], что позволяет использовать основание кронштейна гидроцилиндра в качестве базовой поверхности для дополнительной фиксации лонжерона в стапеле сборки кессона отъемной части крыла.

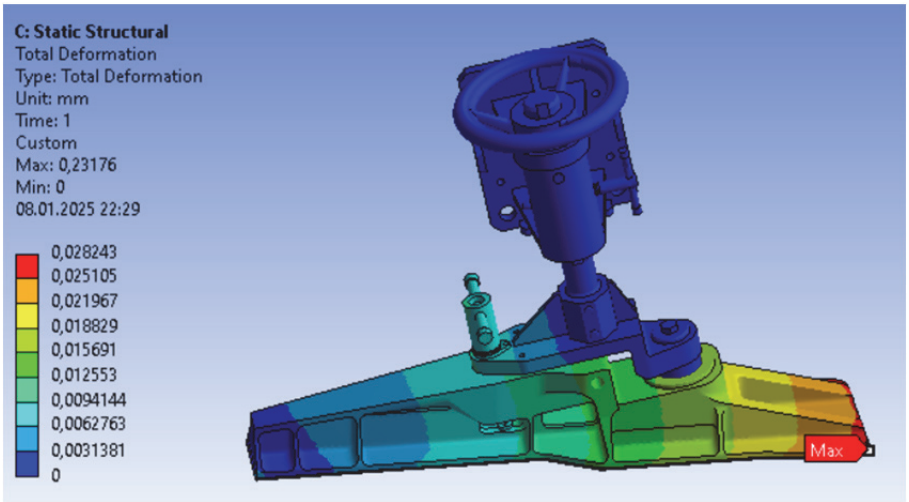


Рисунок 12 – Анализ жесткости кронштейна гидроцилиндра при сборке

Максимальные напряжения, возникшие между втулками кронштейна гидроцилиндра и фиксации, составили 8,9 МПа. Данное значение не достигает предела текучести ни для одного матерела в расчетной модели, а следовательно, необратимых деформаций в спроектированной фиксации возникать не будет.

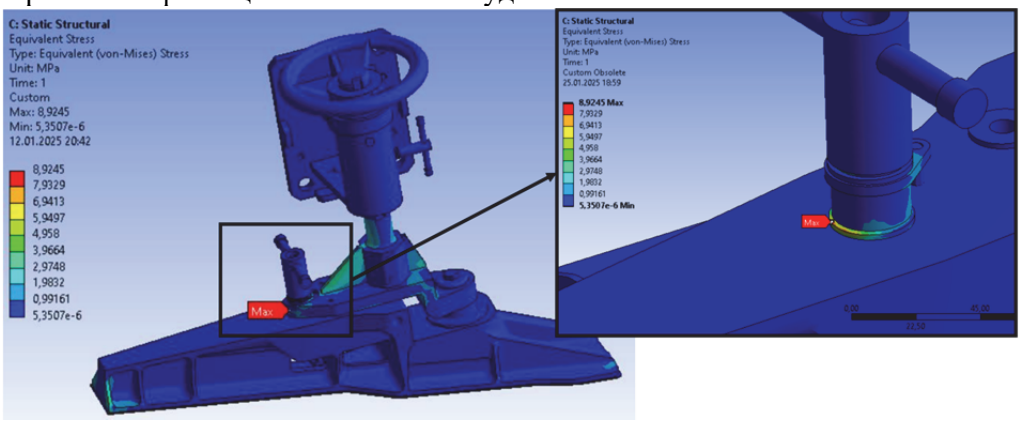


Рисунок 13 – Анализ прочности кронштейна гидроцилиндра при сборке

В результате проделанной работы была спроектирована фиксация для кронштейна гидроцилиндра уборки-выпуска основной опоры шасси и выполнен проверочный расчет, который подтвердил, что фиксация обладает достаточной прочностью и жёсткостью и позволить выполнить сборку в соответствии с техническими требованиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории (утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства от 11.12.2008) // КонсультантПлюс : сайт. URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_291405/ (дата обращения: 10.04.2025). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

2. Оконечников, А. С. Прочностные и динамические расчеты в программном комплексе ANSYS WORKBENCH : учебное пособие / А. С. Оконечников, С. Д. , Ф. Г. . — Москва : МАИ, 2021. — 101 с. — ISBN 978-5-4316-0805-6.

3. Гусева, Р. И. Проектирование и монтаж сборочных приспособлений : учебное пособие / Р. И. Гусева, С. Б. Марьин. – Комсомольск-на-Амуре : КНАГУ, 2022. – 99 с. – ISBN 978-5-7765-1503-3.

УДК 164.01

Чеботарь Элеонора Андреевна, студент, Амурский филиал Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского

Chebotar Eleonora Andreevna, student, Amur branch of the Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy
Логинова Ксения Александровна, студент, Амурский филиал Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского
Loginova Ksenia Alexandrovna, student, Amur branch of the Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy
Хасанова Руслана Шамилевна, студент, Амурский филиал Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского
Khasanova Ruslana Shamilevna, student, Amure branch of the Maritime State University after admiral G.I. Nevelskoy
Ковалёва Софья Игоревна, преподаватель, Амурский филиал Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского
Kovalyova Sofia Igorevna, Lecturer, Amur branch of the Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy
Терейковский Станислав Валерианович, преподаватель, Амурский филиал Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского
Tereikovsky Stanislav Valerianovich, Lecturer, Amur branch of the Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy

АЛЬТЕРНАТИВА: ГРУЗОПЕРЕВОЗКИ МЕЖДУ ПРИМОРЬЕМ И ЧУКОТСКИМ АВТОНОМНЫМ ОКРУГОМ

ALTERNATIVE: CARGO TRANSPORTATION BETWEEN PRIMORYE AND CHUKOTKA AUTONOMOUS OKRUG

Аннотация. В данной статье рассматривается перспектива использования дирижаблей для грузоперевозок между Приморьем и Чукоткой. Акцентируется внимание на сравнительном анализе традиционных перевозок и растущей необходимости оптимизации транспортных маршрутов, например, использования дирижаблей. Обсуждаются технические аспекты эксплуатации дирижаблей. Отмечается возможность того, что дирижабли станут инновационным шагом в области грузоперевозок, укрепляя связь между основными хабами России. Цель статьи – выявить потенциальные преимущества использования дирижаблей как альтернативы традиционным перевозкам.
Abstract. This paper examines the prospect of using airships for cargo transportation between Primorye and Chukotka. Emphasis is placed on a comparative analysis of traditional transportation and the growing need to optimize transportation routes, such as the use of airships. Technical aspects of airship operation are discussed. The possibility of airships becoming an innovative step in the field of cargo transportation, strengthening the connection between the main hubs of Russia, is noted. The aim of the article is to identify the potential advantages of using airships as an alternative to traditional transportation.
Ключевые слова: Северный Морской Путь, виды транспорта, дирижабль, Приморье, Чукотка, грузоперевозки, альтернатива.
Key words: Northern Sea Route, types of transport, airship, Primorye, Chukotka, cargo transportation, alternative.

В последние годы наблюдается растущий интерес к альтернативным методам грузоперевозок, способным обеспечить более эффективное и экологичное перемещение товаров. Одним из таких методов является использование дирижаблей, которые, несмотря на свою долгую историю, вновь привлекают внимание благодаря инновационным технологиям и изменяющимся требованиям рынка.

Владивосток и Певек представляют собой два стратегически важных хаба на карте России, находящихся на противоположных концах восточных границ страны. Однако доставка грузов между этими удалёнными регионами часто сталкивается с рядом проблем, включая высокие затраты, длительное время в пути и сложные погодные условия.

Дирижабли обладают уникальными характеристиками: они способны подниматься на значительную высоту, обходя препятствия, и могут разгружаться на территориях, не имеющих развитую инфраструктуру, что делает их идеальными для доставки в труднодоступные районы.

Анализ традиционных методов перевозок

Для осуществления авиаперевозок на Крайнем Севере необходимо строительство малых аэропортов. В настоящее время во многих арктических регионах перевозки осуществляются малыми воздушными судами типа Ан-24, которые не могут в полном объёме обеспечить необходимыми материалами в силу своего размера. И в скором времени эти суда выведут из эксплуатации.

В Чукотском автономном округе, а также в районах Якутии и других регионах строятся автозимники, которые эксплуатируются в период с декабря по апрель. По таким дорогам достаточно сложно и опасно перевозить грузы, поскольку местность, на которой расположена дорога, в основном гористая или с большим количеством малых горных рек и болот. Так же нужно учитывать, что большие машины грузоподъёмностью 40 тонн и выше не всегда могут пройти по зимникам. Машины проваливаются, не поднимаются в гору или не могут спуститься с горы. Требуются небольшие машины с большой грузовместимость, что почти невозможно. Таким образом, перевозка становится достаточно сложным мероприятием, зачастую продолжительным и дорогостоящим, а самое главное - опасным для жизни. Морскому транспорту ледовая обстановка не позволяет ходить на Певек в промежутке между октябрём и апрелем, т.к. для этого нужны ледоколы, что не всегда рентабельно. По этому основной запуск грузов происходит до октября. Подводя итог, стоит отметить, что не существует на отдаленных районах Крайнего Севера круглогодичной перевозки, которая обеспечивает доставку от точки А в точку Б без перегрузки, что увеличивает сроки доставки материалов и не позволяет в сложных и чрезвычайных ситуациях обеспечить доставку.

Преимущества использования дирижаблей

Дирижабли способны перевозить крупногабаритные грузы на значительные расстояния, что позволяет избежать сложностей, связанных с мультимодальными перевозками. Так, например материалы и оборудование для жизнеобеспечения населенных пунктов (трубопроводная арматура, горюче-смазочные материалы, дизель-генераторные станции и т.п.) и строительные крупногабаритные конструкции. Современные воздушные суда будут способны развивать скорость до 150-200 км/ч., что открывает возможности для доставки срочных грузов, например почты, товаров с маркетплейсов, продуктов питания. Также воздушные суда могут находиться в воздухе длительное время, что позволяет совершать дальние перелеты без частых дозаправок. Дирижабли имеют меньший углеродный след по сравнению с авиационным, морским и автотранспортом. В дальнейшем возможное снижение операционных затрат, благодаря экономии времени при погрузо-разгрузочных работах. Следует отметить также возможность круглогодичного использования транспорта (таблица 1).

Таблица 1 – Расчёт количества рейсов для заданного грузопотока

Период эксплуатации	Морские перевозки	Автоперевозки	Авиаперевозки	Перевозки дирижаблем
Апрель-Октябрь (7 месяцев)	8 700 000 кг (1 рейс - 14 суток)			
Декабрь-Апрель (5 месяцев)		8 700 000 кг (435 машин)		
Круглогодично			8 700 000 кг (1582 самолета АН-24)	8 700 000 кг (30 рейсов)

Дирижабль для Чукотки

Для транспортной линии Приморье-Чукотка предлагается использовать дирижабль перспективного архитектурно-конструктивного типа (рисунки 1-3).

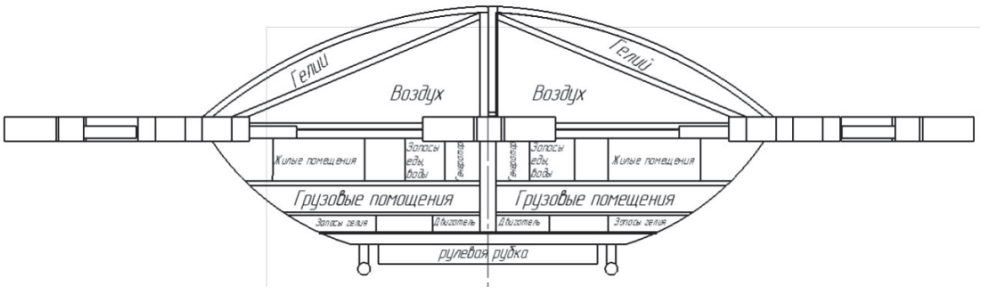


Рисунок 1 – Расположение основных отсеков при эксплуатации

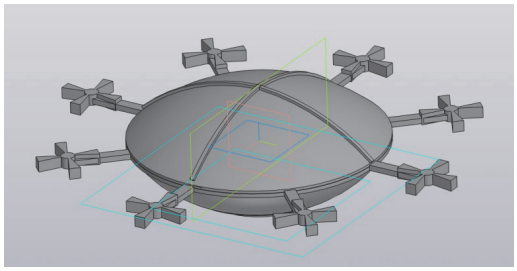


Рисунок 2 – 3D модель дирижабля

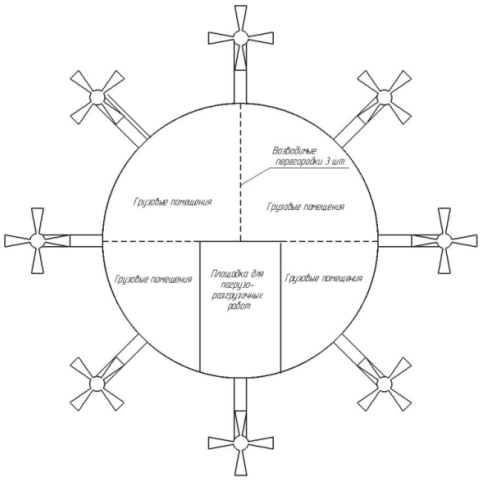


Рисунок 3 – Расположение грузовых отсеков

Корпус дирижабля представляет собой тело удобно обтекаемой формы, оснащенное стабилизаторами, а также вертикальными и горизонтальными рулями. Они входят в состав системы управления ориентацией, позволяющей передвигаться в любую сторону независимо от направления воздушных потоков. Кроме того, на дирижаблях устанавливаются поршневые и гибридно-электрические двигатели, приводящие во вращение воздушные винты и создающие тягу. Диаметр кольца – 180 м. Общая высота, не считая рулевой рубки – 72 м. Высота рулевой рубки – 10 м. Диаметр рулевой рубки – 71 м. Для движения по горизонтали в дирижаблях используются 8 обычных винтов, как на винтомоторных самолетах. Преимущество перед вертолетами в том, что энергия моторов не тратится на удержание дирижабля в воздухе. Длина одной лопасти – 25 м. Толщина – 4 м. Для ПРР предусмотрена площадка площадью 2340 м^2. Площадь грузовых помещений – 14165 м^2.

Для успешного внедрения дирижаблей, как альтернативы морским, авиационным, автомобильным и комбинированным грузоперевозкам, необходима четкая стратегия, включая: развитие соответствующей инфраструктуры; интеграция модели дирижаблей в существующие логистические цепочки; эффективное информирование заинтересованных сторон о преимуществах нового решения. Каждый из методов грузоперевозок имеет свои сильные и слабые стороны. Выбор подходящего способа зависит от конкретных условий, таких как: тип груза, расстояние, срочность, доступность инфраструктуры и экологические требования. В случае успешного развития и внедрения дирижаблей, они могут стать важным инструментом в логистических стратегиях, особенно для удалённых и труднодоступных регионов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Теперь и в России: дирижабли полетят на север // Сетевое издание "Смотрим" – . – URL: https://smotrim.ru/article/1689884 (дата обращения: 15.03.2025).

2. Воздушные корабли. Обзор дирижаблей // Novate.Ru – сайт (открытая блоговая платформа). – . – URL: http://uvakin.ru/vozdushnye-korabliobzor-dirizhablej/ (дата обращения: 15.03.2025).

3. Байкал" вместо "Ан-24": Какие перемены ждут авиапарк в России? // Сетевое издание "Информационное агентство UlanMedia" – . – URL: https://ulanmedia-ru.turbopages.org/ulanmedia.ru/s/news/1625863/ (дата обращения 15.03.2025).

УДК 536.24
Андрианов Иван Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Andrianov Ivan Konstantinovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Laboratory “Aircraft industry”, Komsomolsk-na-Amure State University
Буренин Анатолий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Burenin Anatoly Alexandrovich, Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher, Komsomolsk-na-Amure State University
Феоктистов Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Feoktistov Sergey Ivanovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Researcher, Komsomolsk-na-Amure State University
Чепурнова Елена Константиновна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Chepurnova Elena Konstantinovna, postgraduate, Komsomolsk-na-Amure State University

К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛООТВОДА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК ДЕФЛЕКТОРНОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ

TO FORMULATE THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE HEAT SINK IN THE COOLING SYSTEM OF TURBINE BLADES OF THE DEFLECTOR TYPE UNDER CONDITIONS OF THERMAL FATIGUE

Аннотация. В исследовании проведена математическая постановка задачи оптимального теплоотвода во внутренней системе охлаждения лопаток газотурбинного двигателя дефлекторного типа. Согласно построенной системе уравнений предлагается рассчитать оптимальные значения переменного диаметра каналов охлаждения на протяжении всей длины канала, при котором будет достигаться тепловое состояние лопатки, соответствующее предельному при ограничениях на термическую усталость и длительную прочность.
Abstract. The mathematical formulation of the problem of optimal heat dissipation in the internal cooling system of the blades of a deflector-type gas turbine engine is carried out in the study. According to the constructed system of equations, it is proposed to calculate the optimal values of the variable diameter of the cooling channels throughout the entire length of the channel, at which the thermal condition of the blade will be achieved, as close as possible to the limit values with restrictions on thermal fatigue and long-term strength.
Ключевые слова: турбинная лопатка, термическая усталость, охладитель, отвод тепла
Key words: turbine blade, thermal fatigue, cooler, heat dissipation

Развитие современного турбомашиностроения неразрывно связано с вопросами повышения эффективности охлаждения элементов, которые подвергаются высокотемпературному воздействию. Одними из таких элементов являются рабочие лопатки газотурбинного двигателя. Сегодня существуют различные схемы охлаждения таких лопаток, предлагаются различные конструкторские решения по реализации систем внутреннего и внешнего охлаждений, сравнительный анализ которых рассмотрен в работах [1,2]. Исследователями предлагаются различные варианты оптимизации геометрии систем охлаждения, позволяющие управлять расходом охладителя, что отражено в работах [3-5]. Широкие возможности для оптимизации теплоотвода сегодня представляют оболочечные лопатки газотурбинного двигателя дефлекторного типа, которые позволяют за счет изменения формы де-

флектора интенсифицировать охлаждение в наиболее нагруженных областях. Таким образом, в рамках данного исследования требовалось провести математическую постановку задачи оптимального теплоотвода во внутренней системе охлаждения лопаток газотурбинного двигателя дефлекторного типа.

Одной из важных практических задач при исследовании отвода тепла в лопатках газотурбинного двигателя является снижение массового расхода охладителя в каналах внутренних систем охлаждения. Решить данную проблему можно за счет повышения температуры лопатки в пределах допустимых значений, определяемых длительной прочностью и термической усталостью материала. В связи с этим рассмотрим оболочку турбинной лопатки, ограниченную поверхностями Ω_+, Ω_-, где обеспечивается подвод и отвод тепла. Поскольку наиболее термонагруженной является наружная поверхность лопатки Ω_+, в качестве целевой функции максимизации выберем температурное поле на данной поверхности:

$$T|_{\Omega_+} = T_+ \to \max, \tag{1}$$

где T – температура лопатки, T_+ – температура лопатки на поверхности Ω_+.

Поскольку турбинная лопатка находится в условиях и теплового, и силового воздействий, максимизировать температурное поле на поверхности Ω_+ можно, используя ограничение на длительную прочность:

$$\sigma_{дл}^{\tau} T_+^n \le \text{const}, \tag{2}$$

где $\sigma_{дл}^{\tau}$ – предел длительной прочности, n – константа кривой длительной прочности для данного материала.

Наибольшие допустимые температурные значения будут достигаться в случае выполнения равенства в соотношении (2). При этом следует учитывать напряженное состояние лопатки. Полное напряжение σ будет складываться из составляющих от действия центробежных сил и изгибающих моментов, а также от циклического температурного воздействия. В последнем случае этом случае значение термических напряжений определяются согласно уравнению

$$\sigma_T = E\alpha_T \Delta T/(1-\nu), \tag{3}$$

где E – модуль упругости, α_T – коэффициент линейного расширения, ν – коэффициент Пуассона.

Реализовать требуемую конфигурацию температурного поля $T_+(\mathbf{x})$ на поверхности лопатки, можно за счет каналов охлаждения переменного диаметра $d(\mathbf{x})$. Таким образом, диаметр канала охлаждения будет рассматриваться в качестве переменной оптимизации целевой функции $d = \arg\max T_+$. За счет сужения и расширения канала охлаждения можно управлять процессом теплопереноса, интенсифицировав отвод тепла в наиболее нагруженных зонах лопатки. Для расчета оптимальных значений диаметра канала охлаждения требуется решить задачу теплопроводности в стенке лопатки и задачу газодинамики в канале охлаждения.

Для описания теплопереноса в стенке лопатки и отвода тепла в канале охлаждения составим систему уравнений, включающую в себя: дифференциальное уравнение стационарной теплопроводности в стенке лопатки, уравнение неразрывности, состояние и движения охлаждающего газового потока в канале, критериальное уравнение теплоотдачи при вынужденном течении газа в канале:

$$\mathbf{div}(\lambda\, \mathbf{grad}\, T) = 0, \tag{4}$$

$$\operatorname{div}(\rho\mathbf{v}) = 0, \qquad p = \rho R T_r, \tag{5}$$

$$\rho(\mathbf{v}\cdot\nabla)\mathbf{v} = -\nabla p + \mu\Delta\mathbf{v} + \left(\varsigma + \frac{\mu}{3}\right)\nabla \operatorname{div}\mathbf{v} + \rho\mathbf{f}, \tag{6}$$

$$\mathrm{Nu} = a\mathrm{Re}^b \mathrm{Pr}^c \left(\frac{T_-}{T_r}\right)^d \varepsilon_l, \tag{7}$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала лопатки, ρ – плотность охладителя, R – газовая постоянная, T_r – температура охладителя, $\mathbf{v}$ – вектор скорости охладителя, p – давление газа в канале, μ – коэффициент динамической вязкости, ς – объемная вязкость,

a, b, c, d – эмпирические константы, ε_l – коэффициент, учитывающий геометрию канала, $T_- = T|_{\Omega_-}$ – температура лопатки на поверхности охлаждения, $\mathbf{f}$ – вектор массовых сил, Nu – критерий Нуссельта, Re – критерий Рейнольдса, Pr – критерий Прандтля.

Система уравнений (1) – (7) дополняется граничными условиями теплоотдачи на наружной и внутренней поверхностях лопатки, а также условиями на входе в канал:

$$\alpha_h(T_h - T_+) = \lambda \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}}\Big|_{\Omega_+}, \qquad \alpha_r(T_r - T_-) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}}\Big|_{\Omega_-},$$
$$d_0 = d_0^*, \qquad \mathrm{v}_0 = \mathrm{v}_0^*, \qquad T_{r0} = T_{r0}^*,$$

где α_h, α_r – коэффициенты теплоотдачи на поверхностях подвода и отвода тепла, $\mathbf{n}$ – вектор внешней нормали к поверхности Ω_+, d_0 – диаметр канала охлаждения на входе, v_0 – скорость газа на входе в канал, T_{r0} – температура газа на входе в канал, звездочкой $(*)$ обозначены заданные величины.

Согласно проведенному исследованию представлена математическая постановка задачи оптимального отвода тепла в лопатках газотурбинного двигателя. Построенная система уравнений учитывает конвективный теплообмен на граничных поверхностях лопатки, теплопроводность в ее стенке и газодинамику в каналах охлаждения. Решение предложенной постановки задачи позволит на практике снизить расход охлаждающего газа за счет повышения теплового состояния турбинной лопатки в наименее термонагруженных зонах при ограничениях на длительную прочность и термическую усталость материала лопатки.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда №22-79-10114 (https://rscf.ru/project/22-79-10114/).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование эффективности различных систем охлаждения перспективных газотурбинных двигателей / И. М. Малиновский, В. Г. Нестеренко, А. В. Стародумов, А. М. Андреев // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2022. – № 8(128). – DOI 10.18698/2308-6033-2022-8-2203.

2. Третьяков, А. Ф. Модернизация системы охлаждения турбинных лопаток энергетических установок. Часть 2. Технология изготовления турбинной лопатки с оболочкой из пористого сетчатого материала / А. Ф. Третьяков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2015. – № 2. – С. 14-18.

3. Результаты исследования влияния геометрии каналов, подводящих воздух к поверхности, обтекаемой газами с высокой температурой, на эффективность пленочного охлаждения / В. Г. Грибин, А. Ю. Макаров, В. В. Попов [и др.] // Газовая промышленность. – 2024. – № S3(870). – С. 42-49.

4. Патент № 2738523 C1 Российская Федерация, МПК F01D 11/24, F02C 7/18. Способ регулирования радиальных зазоров турбины двухконтурного газотурбинного двигателя и устройство для его реализации : № 2020112353 : заявл. 24.03.2020 : опубл. 14.12.2020 / Н. Б. Болотин.

5. Оптимизация лобового канала системы охлаждения рабочей лопатки турбины высокого давления / М. А. Федорова, А. Е. Ремизов, К. В. Виноградова [и др.] // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. – 2020. – № 4(55). – С. 17-23.

УДК 539.3

Чепурнова Елена Константиновна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Chepurnova Elena Konstantinovna, postgraduate, Komsomolsk-na-Amure State University

Андрианов Иван Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Andrianov Ivan Konstantinovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Laboratory “Aircraft industry”, Komsomolsk-na-Amure State University

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АВТОФРЕТИРОВАНИЯ И АВТОФРЕТИРОВАНИЯ ДОРНИРОВАНИЕМ

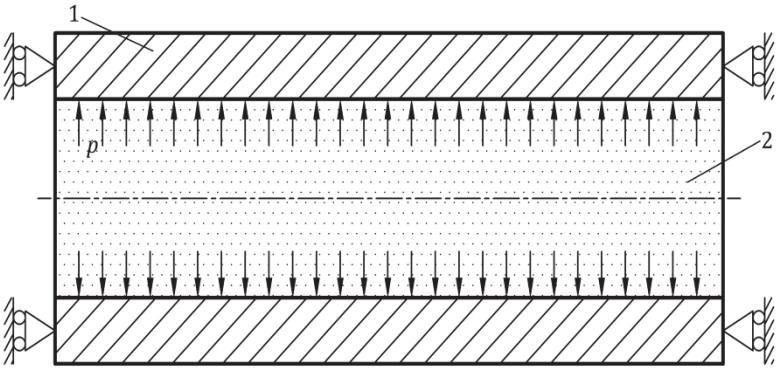
COMPARATIVE ANALYSIS OF HYDRAULIC AUTOFRETTAGE AND SWAGE AUTOFRETTAGE

Аннотация. В исследовании рассмотрены основные способы автофретирования толстостенных цилиндрических оболочек: гидравлическое автофретирование и автофретирование дорнированием. Согласно проведенному анализу оба способа объединены общей целью, заключающейся в повышении прочностных свойств оболочки в процессе автофретирования. Отличительным признаком процессов автофретирования является способ реализации и создания давления на внутренней поверхности оболочки: в случае гидравлического автофретирования – за счет действия жидкой или газообразной среды, а при дорнировании – за счет дорна, представляющего собой твердое тело, выполненное из более жесткого материала, чем оболочка.
Abstract. The study examines the main methods of autofrettage of thick-walled cylindrical shells: hydraulic autofrettage and swage autofrettage. According to the analysis, the goal common to both methods is to increase the strength properties of the shell during autofrettage. A distinctive feature of the autofrettage processes is the method of implementation and creation of autofrettage pressure: in the case of hydraulic autofrettage - due to the action of a liquid or gaseous medium, and in mandrel - due to a mandrel, which is a solid body made of a more rigid material than the shell.
Ключевые слова: гидравлическое автофретирование, автофретирование дорнированием, толстостенная цилиндрическая оболочка, упрочнение
Key words: hydraulic and swage autofrettage, thick-walled cylindrical shell, hardening

Развитие современного производства неразрывно связано с разработкой методов повышения его эффективности. В различных отраслях авиа- и судостроения достаточно часто встречаются изделия в виде толстостенных цилиндрических оболочек, работающих при высоких внутренних давлениях. При этом стоимость материалов, обладающих достаточными прочностными характеристиками для использования при изготовлении таких оболочек, достаточно высока. Соответственно, возникает актуальная проблема повышения прочностных характеристик более дешевых и доступных материалов для толстостенных оболочек, которая может быть решена за счет применения процедуры автофретирования. Не сегодняшний день существуют различные подходы к автофретированию, наиболее распространенными применительно к толстостенным цилиндрическим оболочкам, работающим под внутренним давлением, являются гидравлическое автофретирование [1-3] и автофретирование дорнированием [4-5]. При этом, важно понимать, что разные способы автофретирования могут иметь различные способы реализации, и, соответственно, различным может быть поведение оболочек в процессе нагружения и разгрузки. Таким образом, цель исследования заключалась в том, чтобы сопоставить два процесса автофретирования: гидравлическое и с применением дорна, а также выявить наиболее отличительные признаки. Решение данного вопроса позволит наиболее точно провести математическую постановку задачи упругопластического деформирования оболочек, выбрать подходящую численную методику для расчета напряженно-деформированного состояния оболочек в процессе автофретирования.

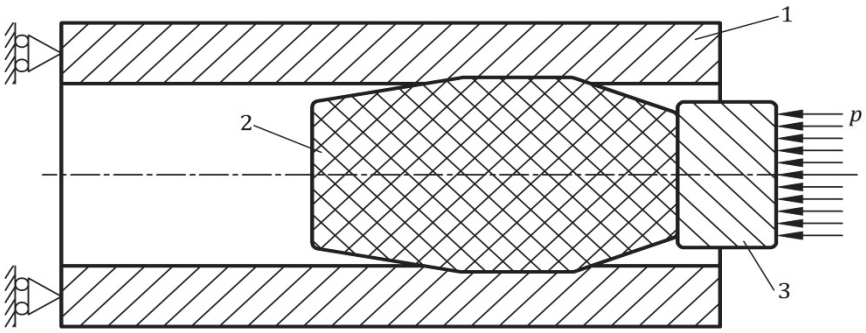
Суть процедуры автофретирования заключается в повышении прочности поверхности оболочки за счет создания на ней давления, значение которого превышает эксплуатационное [1,2]. Рассматривая процессы гидравлического автофретирования и автофретирования дорнированием можно выделить общие и отличительные признаки. Оба процесса объединены общей целью – повышением упругой прочности толстостенной оболочки в процессе нагружения. За счет создания на внутренней поверхности оболочки давления выше рабочего в процессе автофретирования оболочка переходит в стадию пластического деформирования, в результате которой на внутренней поверхности оболочки возникают остаточные сжимающие напряжения, которые в дальнейшем компенсируют растягивающее

давление в процессе эксплуатации оболочки [2]. Основное отличие этих процедур заключается в способе создания на внутренней поверхности оболочки давления p автофретирования. При гидравлическом автофретировании (рисунок 1) внутренняя поверхность оболочки нагружается давлением за счет действия жидкой и газовой среды. При автофретировании дорнированием (рисунок 2) во внутренней полости оболочки проталкивается дорн в виде цилиндрического стержня, диаметр которого превышает диаметр внутренней поверхности оболочки, в результате на контактной поверхности создается давление автофретирования.



1 – оболочка; 2 – жидкая или газовая среда

Рисунок 1 – Схема гидравлического автофретирования толстостенной цилиндрической оболочки



1 – оболочка; 2 – дорн; 3 – плунжер

Рисунок 2 – Схема автофретирования толстостенной цилиндрической оболочки дорнированием

Сравнивая данные процессы, можно отметить, что под действием создаваемого внутреннего давления на внутренней поверхности оболочки будут возникать пластические деформации, и по мере роста этого давления доля стенки оболочки, перешедшей в стадию пластического деформирования, будет увеличиваться. В обоих случаях автофретирования: и гидравлического, и с помощью дорна – на поведение оболочки в процессе деформирования будут влиять доля пластической области, охватившей оболочку, и эффект Баушингера, который проявляется в снижении мгновенного предела текучести при последующей разгрузке. Безусловно, различия в способе нагружения оболочки определяют и сложности в проведении расчетов ее напряженно-деформированного состояния. В отличие от гидравлического автофретирования, где напряжения, зависят от величины создаваемого давления автофретирования, напряжения, возникающие в оболочке при дорнировании, существенно зависят от радиуса дорна, длины его плоской части. Процесс дорнирования представляется более сложным с точки зрения механики деформируемого твердого тела. Расчет напряжений и деформаций в оболочке при активном нагружении в процессе дорнирования и при разгрузке требует решения контактной задачи, связанной с расчетом усилий на контактных поверхностях и исследованием деформирования не только самой оболочки, но и дорна, поскольку в случае нагружения толстостенной оболочки дорн нельзя рассматривать как абсолютно жесткое тело. Согласно проведенному сравнительному анализу процессов автофре-

тирования: гидравлического и с помощью дорна, выявлены общие и отличительные признаки. Сделан вывод о том, что решение задачи автофретирования дорном является более сложным, поскольку требует рассмотрения контактной задачи. Кроме того, исследование процесса дорнирования требует решения дополнительных задач, в частности, связанных с определением диапазона граничных значений радиуса дорна, при которых возможна реализация процедуры автофретирования, что в свою очередь требует значительных вычислительных мощностей при моделировании процесса автофретирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Упруго-пластическое самоупрочнение (автофретирование) толстостенных контейнеров давлением эластичной среды / В. А. Барвинок, Ю. В. Федотов, Н. П. Родин, А. Н. Кирилин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 1999. – Т. 1, № 1. – С. 157-160. – EDN FPHWPF.

2. Феоктистов, С. И. Влияние эффекта Баушингера и упрочнения материала на возникновение вторичных пластических деформаций при автофретировании толстостенного цилиндра / С. И. Феоктистов, И. К. Андрианов, Л. Тхет // Труды МАИ. – 2024. – № 135. – EDN MYGZNW.

3. Андрианов, И. К. Прогнозирование поля остаточных напряжений при автофретировании толстостенных цилиндрических оболочек с учетом упругопластической неоднородности / И. К. Андрианов, С. И. Феоктистов, Л. Тхет // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 470-473. – EDN GGWYYZ.

4. Шарунов, А. В. Численный анализ процесса дорнирования соединительной цилиндрической муфты из сплава с памятью формы с учетом влияния на поведение материала вида напряженного состояния / А. В. Шарунов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 359-373. – EDN ATYHNH.

5. Рябичева, Л. А. Остаточные напряжения при дорновании отверстий в тонкостенной порошковой пористой заготовке / Л. А. Рябичева, Д. В. Решетняк // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2021. – № 2(88). – С. 116-125. – EDN JDDPNQ.

УДК 629.5.018.22

Шерстюк Александр Игоревич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sherstyuk Alexander Igorevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Казанцев Данила Васильевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kazantsev Danila Vasilievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кириченко Виктор Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kirichenko Viktor Viktorovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бурменский Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Burmensky Andrey Dmitrievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department “Shipbuilding and Computer Engineering”, Komsomolsk-na-Amure State University

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ КОРПУСОВ СУДОВ ДЛЯ ОПЫТОВОГО БАССЕЙНА КНАГУ

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING EXPERIMENTAL MODELS OF SHIP HULLS FOR THE KNAGU TESTING TANK

Аннотация. Проведение буксирных испытаний в малых опытовых бассейнах, к которым относится и гидродинамический опытовый бассейн КнАГУ, требует высокоточного геометрического подобия модели. Оснащение модельной мастерской опытового бассейна современным обрабатывающим оборудованием позволило сократить время и повысить качество изготовления экспериментальных моделей. В докладе представлен опыт изготовления экспериментальных моделей корпусов судов, предназначенных для проведения буксировочных испытаний в опытовом бассейне КнАГУ.
Abstract. Conducting towing tests in small testing tank, which include the KnASU hydrodynamic experimental basin, requires high-precision geometric similarity of the model. Equipping the model workshop of the testing tank with modern processing equipment allowed to reduce the time and improve the quality of manufacturing experimental models. The article presents the experience of manufacturing experimental models of ship hulls intended for towing tests in the KnASU testing tank.
Ключевые слова опытовый бассейн, гидродинамические испытания, экспериментальные модели, CAD/CAM системы.
Keywords: testing tank, hydrodynamic tests, experimental models, CAD/CAM systems.

С момента введения в эксплуатацию в 1989 году гидродинамический опытовый бассейн КнАГУ стал ведущей учебно-научной лабораторий университета. Благодаря своим размерам опытовый бассейн КнАГУ до сих пор остается самой крупной гидродинамической лабораторий в системе образовательных учреждений России. Габаритные размеры чаши опытового бассейна составляют 45 х 4,1 х 3,25 м. Максимальная глубина воды – 2,75 м. Опытовый бассейн в настоящее время оснащен двумя буксировочными системами: несамоходной буксировочной тележкой (рисунок 1) и буксировочной системой гравитационного типа (рисунок 2). Буксировочные системы позволяют проводить исследования гидродинамики судов с помощью экспериментальных моделей длиной до 3 м и скоростью буксировки до 5 м/с [1].



Рисунок 1 – Буксировочная тележка

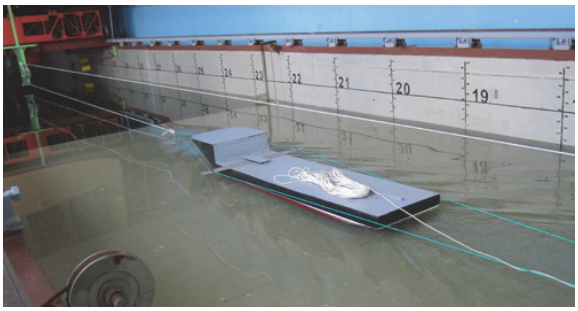


Рисунок 2 – Буксировочная система гравитационного типа

Так как опытовый бассейн КнАГУ относится к малым бассейнам, то для достижения удовлетворительных результатов проводимых в нем экспериментальных исследований предъявляются повышенные требования к техническому состоянию буксировочных систем и регистрирующему оборудованию, а также к параметрам самих экспериментальных моделей, в том числе и точности их изготовления.

Модельная мастерская опытового бассейна

В процессе модернизации опытового бассейна КнАГУ по программе «Инфраструктура», в лаборатории были расширены площади и обновлено материально-техническое оснащение модельной мастерской. К уже имеющемуся слесарно-станочному участку, оснащенному сверлильным и парком метало-режущих станков, были организованы деревообрабатывающий участок с комплектом деревообрабатывающего оборудования и стапельно-сборочный участок с двумя стапельными столами для формирования заготовок для изготовления экспериментальных моделей и окончательной их подготовке к экспериментам (рисунок 3). Дополнительно, были организованы фрезерные участки, которые были оснащены современными трех-координатными фрезерными станками с ЧПУ (рисунок 4) [2].



Рисунок 3 – Сборочный участок модельной мастерской



Рисунок 4 – Фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ «SPRINT FC1900CNC»

Благодаря дополнительному оснащению модельной мастерской современной компьютерной техникой и программным обеспечением, а также таким характеристикам фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ «SPRINT FC1900CNC», как размеры зоны обработки по осям X-Y (1900 х 1280 мм) и перемещение шпинделя по оси Z (480 мм), в опытовом бассейне КнАГУ появилась возможность к переходу от «ручных», к автоматизированным технологиям изготовления корпусов экспериментальных моделей, в том числе и крупногабаритных.

Современные технологии изготовления экспериментальных моделей

Повышение требований к качеству проектирования морской техники привело к необходимости использования современных CAD/CAM технологий с целью повышения точности и снижения сроков изготовления моделей, предназначенных для гидродинамических испытаний. В России лидером по применению компьютерных технологий при подготовке экспериментов в опытовых бассейнах является «Крыловский государственный научный центр». Модельные мастерские Крыловского научного центра оснащены портальными пятиосевыми фрезерными станками, которые позволяют изготавливать корпуса моделей судов длиной до 13 м. Благодаря использованию непрерывной пятиосевой обработки появилась возможность изготавливать корпуса судов сложной формы сразу без переустановки заготовки. Для работы с цифровыми моделями корпусов судов применяется CAD-система гибридного 3D-моделирования PowerSHAPE. Для разработки управляющих программ для фрезерной обработки моделей используется CAM-система PowerMILL. Применение CAD/CAM систем компании Delcam позволили сократить сроки изготовления моделей корпусов судов в 3-4 раза [3].

Технологии изготовления экспериментальных моделей в КнАГУ

С момента вступления в строй опытового бассейна КнАГУ корпуса экспериментальных моделей изготавливались традиционным судомодельным способом способом. На первом этапе с учетом толщины «скорлупы» изготавливалась болванка корпуса модели. На втором этапе матрица обтягивалась стеклотканью пропитанной полиэфирными смолами и после отвердевания смолы с «болвана» снималась стеклотканевая обшивка корпуса модели. Далее шла ручная окончательная доработка поверхности корпуса модели. Данная технология была очень трудоемка и длительная. Так в зависимости от размеров продолжительность изготовления корпусов моделей составляла несколько месяцев. Благодаря оснащению модельной мастерской современными станками с ЧПУ и современным программным обеспечением, появилась возможность автоматизировать процесс изготовления экспериментальных моделей. Процесс изготовления моделей состоит из следующих этапов: моделирование «гладкой» поверхности корпуса судна в программе FreeSHIP; формирование твердотельной модели корпуса модели и подготовка ее к обработке на станке с ЧПУ в одной из CAD-систем; разработка управляющих программ для изготовления корпуса модели на станке с ЧПУ с помощью CAM-систем; окончательная подготовка модели к экспериментам [4].

Простые по обводам и небольшие по размерам модели изготавливаются на фрезерном станке за два итерации. В начале, идет выборка внутреннего пространства модели, а потом выполнялась обработка внешних обводов. Так как станок «SPRINT FC1900CNC»

может обрабатывать детали только по 3 координатам и имеет ограничения по передвижению шпинделя, то для изготовления моделей больших размеров и имеющих бульбообразную носовую форму и скеги в корме (образуют подзоры), была разработана более сложная технология их изготовления. Корпус разбивался на части (рисунок 5). При этом сам корпус изготавливается из двух частей (днищевой и надводной), выборка внутренних пространств которых идет по отдельности, а уже обработка внешней поверхности выполняется последовательно-совместно. Вначале идет обработка надводной части корпуса, а потом на нее устанавливается заготовка днищевой части и обработка внешней поверхности продолжается (рисунок 6). Такой прием позволяет исключить ошибки в позиционировании фрагментов корпуса. Бульб и скег изготавливались по отдельности из двух половинок.

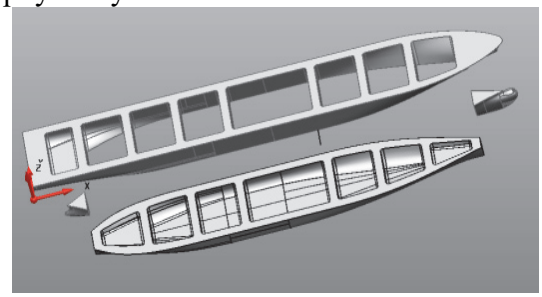


Рисунок 5 – Разбивка корпуса модели на части



Рисунок 6 – Изготовление модели сложной формы

Реализованная технология изготовления экспериментальных моделей позволила получать модели с очень точной судовой поверхностью. Но оказалось, что модели, изготовленные из древесных материалов, очень чувствительны к влажности даже при качественном нанесении защитных покрытий. Изготовление же моделей чисто из пластика являлось очень дорогим. Это заставило развивать далее технологические процессы изготовления экспериментальных моделей.

Комбинированная технология изготовления экспериментальных моделей

Суть предлагаемой технологии заключается практически в совмещении двух вышерассмотренных технологий изготовления экспериментальных моделей: формирование матрицы корпуса средствами CAD/CAM технологий и формирование корпуса модели в матрице из стеклоткани пропитанной полиэфирными смолами (рисунок 7).

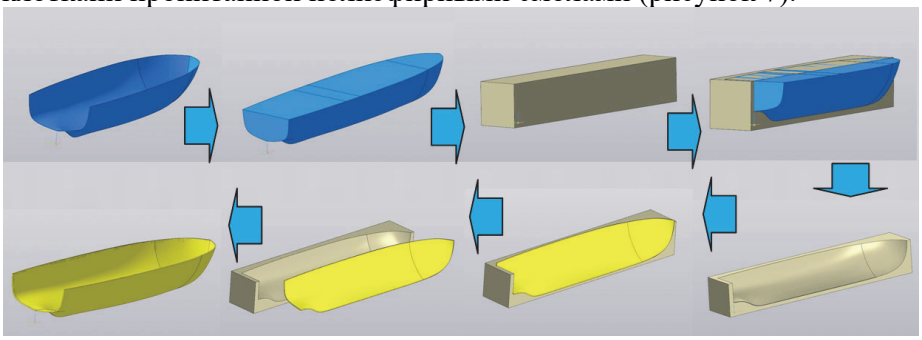


Рисунок 7 – Последовательность формирования корпуса модели: от судовой поверхности до «скорлупы» из стеклоткани

Преимуществом данной технологии является относительная дешевизна, точность судовой поверхности, которая формируется поверхностью матрицы и полная защищенность от внешних факторов окружающей среды.

Применение современных компьютерных технологий по моделированию судовой поверхности и переход на передовые технологии изготовления корпусов экспериментальных моделей позволяет существенно повысить точность поверхности моделей, снизить трудоемкость и сократить время их изготовления. Существенную роль в выборе той или иной технологии играет сложность формы корпуса модели, а также стоимость материалов для изготовления моделей. Перспективными для изготовления корпусов экспериментальных моделей представляется использовать аддитивные технологии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Модернизация и развитие Дальневосточного Опытового бассейна КнАГТУ / С. В. Кошкин, Е. И. Селиванов, Н. А. Тарануха, М. П. Шадрин // Морские интеллектуальные технологии. – 2011. – № S2. – С. 45-48.

2. Журбина, И. Н. Развитие экспериментальной базы опытового бассейна КНАГТУ для исследования морской техники / И. Н. Журбина, Е. И. Селиванов, М. П. Шадрин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2014. – Т. 1, № 1(17). – С. 92-98.

3. Бицуля, А. В. Опыт использования CAD/CAM-систем компании Delcam в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» / А. В. Бицуля, К. К. Евченко // Судостроение. – 2013. – №5. – с. 50-55

4. Бурменский, А. Д. Развитие модельной базы опытового бассейна КнАГТУ / А. Д. Бурменский, А. А. Козлов, Я. А. Шталь // Материалы международной научно-технической конференции «Фундаментальные исследования океанотехники и морской инфраструктуры: Теория. Эксперимент. Практика» – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. – с. 93-95.

УДК 621.43.032.8

Щербина Юрий Вячеславович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shcherbina Yuri Vyacheslavovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Марьин Сергей Борисович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Maryin Sergey Borisovich, doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ МОНТАЖНЫХ РАБОТАХ

PROTECTION OF PIPELINE SYSTEMS DURING INSTALLATION WORK

Аннотация. В статье приводится анализ применения аддитивных технологий для защиты трубопроводных систем при монтажных работах, в частности спроектированы защитные разъёмные кожухи. Изготовление таких кожухов менее затратное, чем изготовление кожухов из металла и резины.

Данное исследование акцентирует внимание на преимуществах аддитивных технологий, включая сокращение производственного времени, возможность создания изделий сложной геометрии и уменьшение отходов производства.

Annotation. The article provides an analysis of the application of additive technologies to protect pipeline systems during installation work, in particular, protective detachable casings are designed. The manufacture of such casings is less expensive than the manufacture of metal and rubber casings.

This study focuses on the advantages of additive technologies, including reducing production time, the ability to create products with complex geometries, and reducing production waste.

Монтажные работы в производстве это одна из самых многочисленных работ. В частности, в авиастроении., специфика которой связана с требованием обеспечения минимального веса летательного аппарата (ЛА), что ведёт к уменьшениям габаритов ЛА из-за чего монтажные работы в авиастроении [1] состоит в том, что рабочим приходится проводить монтаж в труднодоступных и узких местах и занимать неудобные позы. Вследствие чего увеличивается трудоёмкость их работы и количества брака, в частности повреждение близ лежащих трубопроводов. К дефектам относят: царапины, вмятины, трещины и пробоины. Царапины ведут к повреждению лакокрасочного покрытия, что может привести к коррозии. Трещины и пробоины к утечке топлива или рабочего тела гидравлической или

пневматической систем. Вмятины могут привести к Забиванию трубопроводов и, как следствие, снижению пропускной способности и нарушению работы системы.

На данный момент в производстве для защиты трубопровода при монтаже применяют защитные кожухи из металла (рис. 1а) и резины (рис 1б).

а)

б)



Рисунок 1 – Кожухи для защиты трубопровода применяемые на данный момент
а – металлический кожух; б – резиновый кожух

У продемонстрированных выше кожухов были выявлены недостатки, которые представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1 – Недостатки металлического и резинового кожухов

Недостаток	Металлический кожух	Резиновый кожух
Неуниверсальность	Изготавливается только для определённой части трубопровода.	-
Недолговечность	-	Использование на коленах трубопровода разного радиуса надрезы переназначенные для установки кожуха переходят в трещины.
Недостаточная защита	-	На колене трубопровода остаются не защищённые места даже при установленном кожухе.
Трудоёмкое изготовление	Внутри кожуха не обходимо прокладывать резиновую часть и прикреплять её к металлической части.	-

В силу того, что на предприятиях авиационной промышленности широко внедряются аддитивные технологии, в данной статье предлагается печатать защитные кожухи на 3D-принтерах. Были спроектированы электронные модели защитных кожухов в программе T-flex. Особенности конструкции предлагаемых в статье кожухов был выбраны основании того, что они устранят недостатки используемых на данный момент кожухов и специфики изготовления на 3D-принтере. Поэтому новые кожухи будут разъемными состоящими из двух половин (рис.2) [2], [3]. 3D-принтер с меньшим количеством дефектов и быстрее напечатает половину кожуха, что отразится на трудоёмкости изготовления и долговечности кожуха, т.к. две его половины будут скрепляться заранее предусмотренными замками-защёлками при установке на трубопровод. так же это обеспечит полнёное перекрытие поверхности трубы, как и на прямых участках так и на колене трубопровода, аналогично металлическому кожуху.

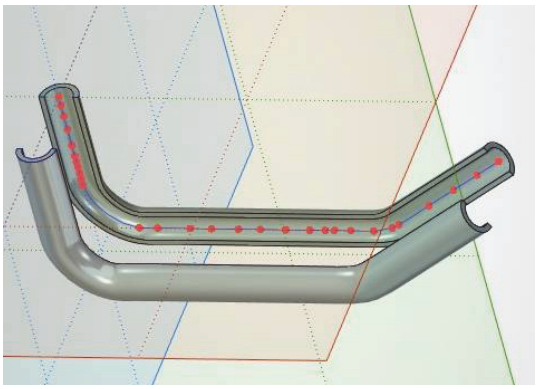


Рисунок 2 – Разъемная модель пластикового кожуха

Но выше описанный вариант не решает проблему неуниверсальности ныне применяемых кожухов, поэтому так же предлагается печатать разъемный кожух-гофру, который можно устанавливать, как на прямые участки, так и на колена трубопровода. Кожух-гофра показан на рисунке 3.

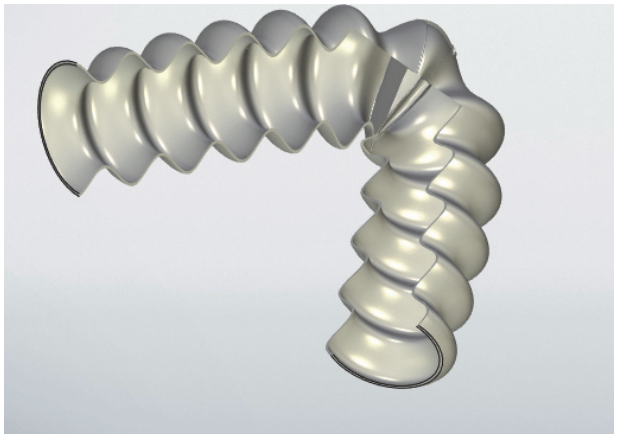


Рисунок 3 – Модель одной из половин разъёмного пластикового кожуха-гофры

Спроектированный и изготовленный кожух, показанный на рисунке 4 позволит защитить трубопровод и не менее эффективно чем металлический и резиновый кожухи, но при этом пластиковые кожухи будут более долговечным чем резиновый и менее трудоёмким в изготовлении чем металлический.



Рисунок 4 – Изготовленный разъемный кожух для защиты трубопроводных систем при монтажных работах

В дальнейшем планируется изготовление и кожуха-гофры, который является более универсальным вариантом и позволяет защитить, как прямые участки, так и колена трубопровода.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Марьин, С. Б. Монтаж и испытания систем самолетов/ С. Б. Марьин, А. В. Вялов. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. – 124 с. – ISBN 978-5-7765-1333-6.

2. Волков, Р. В. Проектирование и изготовление оснастки для штамповки деталей типа «тройник» методом аддитивных технологий / Р. В. Волков, И. В. Лозовский // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 184-186.

3. Лопатин, А. Н. Изготовление формообразующей оснастки аддитивными методами для композитных деталей / А. Н. Лопатин, И. Д. Зверков // Авиационные материалы и технологии. – 2019. – № 2(55). – 53- 59 с.

СЕКЦИЯ

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 627.43
Бакланов Владимир Витальевич, студент, ФГБОУ ВО Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Baklanov Vladimir Vitalievich, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sysoev Oleg E., Doctor of Technical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

СТРОИТЕЛЬСТВО ЗАЩИТНЫХ ДАМБ НА Р. АМУР

CONSTRUCTION OF PROTECTIVE DAMS ON THE AMUR RIVER

Аннотация. Амур длиной 2824 километров, протекающий по границе России и Китая, несет в себе не только жизнь, но и потенциальную угрозу. Регулярные наводнения, особенно в нижнем течении, наносят значительный ущерб населению, инфраструктуре и сельскому хозяйству. Строительство защитных дамб на Амуре – сложная задача, требующая комплексного подхода, учитывающего как природные особенности реки, так и социально-экономические факторы.
Abstract.The Amur River, which is 2,824 kilometers long and runs along the border of Russia and China, carries not only life, but also a potential threat. Regular floods, especially in the lower reaches, cause significant damage to the population, infrastructure and agriculture. The construction of protective dams on the Amur River is a complex task that requires an integrated approach that takes into account both the natural features of the river and socio-economic factors.
Ключевые слова: пойменный зоны, русло река, гидрологические процессы, устойчивость грунта, экологические следования.
Key words: floodplain zones, riverbed, hydrological processes, soil stability, ecological consequences,

Современные технологии и научные подходы позволяют проектировать и строить более эффективные и экологически безопасные дамбы на реках всего мира. Развитие систем мониторинга и прогнозирования наводнений, использование современных материалов и технологий, позволяет управлять водной стихией. Но не всегда строительство дамбы полезно [1-3]. В данной статье будут рассмотрены достоинства и недостатки строительства дамб на примере реки Амур/

Необходимость строительства дамб обусловлена несколькими ключевыми факторами:

1) Защита населения и имущества:

- регулярные наводнения ставят под угрозу жизни и благополучие людей, проживающих в пойменных зонах. Дамбы служат надежным барьером, предотвращая затопления и сохраняя жилые дома, дороги, социальные объекты и сельскохозяйственные угодья;

2) Экономическая стабильность:

- наводнения наносят огромный ущерб экономике региона. Пострадавшие сельскохозяйственные угодья, разрушенная инфраструктура и приостановленные производства требуют значительных затрат на восстановление. Защитные дамбы снижают эти потери, обеспечивая стабильность и развитие региона;

3) Охрана экосистемы:

- беспрепятственное течение воды через пойменные зоны – важный фактор для поддержания разнообразия экосистемы Амура. Однако, в условиях интенсивного развития сельскохозяйственных угодий и урбанизации, строительство дамб может привести к изменениям в водном балансе и биоразнообразии. Поэтому, проектирование и строительство должно учитывать экологическую составляющую.

Факторы строительства дамб на Амуре:

1) Гидрологические особенности реки:

- Амур – полноводная река с сложной системой русла и пойменных зон. Проектирование и строительство дамб требуют глубокого понимания гидрологических процессов,

включая сезонные колебания уровня воды, наводнения и возможные изменения климата. (рис. 1)

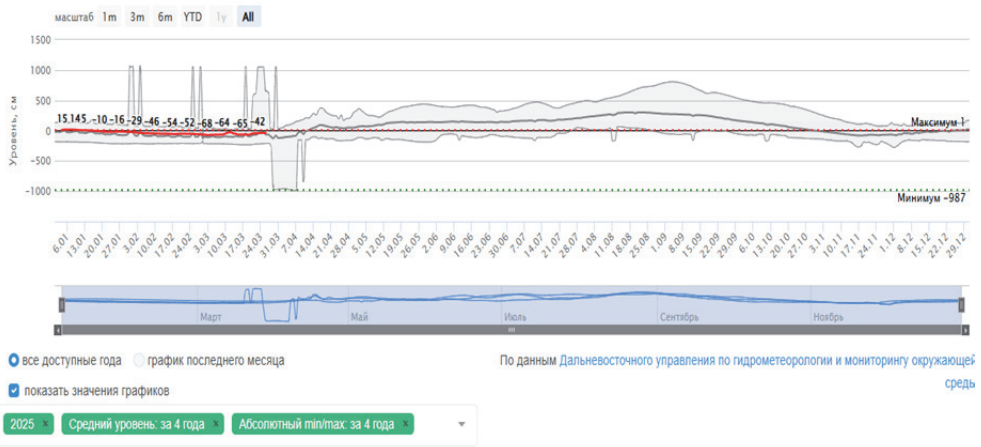


Рисунок 1 График уровня реки Амур по гидропосту

2) Геологические условия:

- подходящие участки для строительства дамб должны быть изучены с точки зрения геологических характеристик грунта. Неустойчивость грунта может привести к деформациям и разрушению дамбы.

3) Международное сотрудничество:

- Амур протекает по границе двух стран. Строительство дамб требует согласованных действий между Россией и Китаем, с учетом взаимного влияния на гидрологический режим реки. (рис. 2)



Рисунок 2 – Карта, прохождения Амура между двумя странами

4) Экологические последствия:

- неправильно спланированные дамбы могут привести к изменениям в миграции рыб, водном балансе, и биоразнообразии региона. Важно проводить комплексные экологические исследования и минимизировать негативное воздействие на экосистему.

5) Экономическая целесообразность:

- строительство крупных дамб – дорогостоящий проект. Необходимо тщательное обоснование экономической целесообразности, учитывая затраты на строительство, обслуживание и возможные риски.

Строительство защитных дамб на Амуре – важная задача, призванная защитить население и инфраструктуру от наводнений. Однако, этот проект требует комплексного подхода, учитывающего гидрологические, геологические, экологические и экономические факторы. Тщательное проектирование, международное сотрудничество, и учет экологических последствий позволят реализовать проект, обеспечивая устойчивое развитие приграничных регионов и сохранение уникальной экосистемы Амура. Важно помнить, что строительство дамб – не панацея, а часть более широкой стратегии управления водными ресурсами и предотвращения наводнений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

1. Дацко Е.Д., Сысоев О.Е. Оценка влияния содержания бентонитовой глины на технические характеристики гидроизоляционного состава/ Дацко Е.Д., Сысоев О.Е.// В

сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 49-52.

2. Малышев А.И., Павлоцкий Р.А., Сысоев О.Е. Устройство дамб /Малышев А.И., Павлоцкий Р.А., Сысоев О.Е.//В сборнике: МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 94-96.

3. Олейникова С.А., Сысоев О.Е. Прогрессивные конструкции устройства дамб/ Олейникова С.А., Сысоев О.Е.// В сборнике: МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 110-113.

УДК 692.2

Баланёв Дмитрий Анатольевич студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Dmitry Anatolyevich Balanev, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Oleg E. Sysoev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

ПЕРЕКРЫТИЯ: ТИПЫ, МАТЕРИАЛЫ, ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ

FLOORS: TYPES, MATERIALS, DESIGN FEATURES

Аннотация. В статье рассматриваются различные типы перекрытий, их конструктивные особенности и используемые материалы. Анализируются требования к проектированию и выбору конструкции в зависимости от назначения здания, условий эксплуатации и нагрузок. Особое внимание уделяется современным материалам и технологиям, применяемым при возведении перекрытий, а также преимуществам и недостаткам различных решений.
Abstract. The article discusses various types of floors, their structural features, and the materials used. It analyzes the design requirements and the selection of structures based on the building's purpose, operating conditions, and loads. Special attention is given to modern materials and technologies used in the construction of floors, as well as the advantages and disadvantages of different solutions.
Ключевые слова: перекрытия, железобетон, дерево, металл, конструкция, нагрузка, проектирование, строительные нормы
Keywords: floors, reinforced concrete, wood, metal, structure, load, design, building codes.

Перекрытия являются одной из важнейших конструктивных частей здания, выполняя функции разделения этажей, передачи нагрузки на несущие конструкции и обеспечения тепло- и звукоизоляции помещений. Правильный выбор типа перекрытия и материалов для его устройства оказывает значительное влияние на прочность, надежность и долговечность сооружения. Проектирование перекрытий осуществляется в соответствии с нормативными требованиями, которые учитывают нагрузку, условия эксплуатации и особенности конструктивной схемы здания.

Типы перекрытий и их особенности

Перекрытия классифицируются по нескольким признакам: по функциональному назначению, по материалу и по конструктивной схеме. По назначению они могут быть междуэтажными, чердачными, цокольными и подвальными. По материалу различают железобетонные, деревянные, металлические и комбинированные конструкции, каждая из которых обладает своими особенностями.

Железобетонные перекрытия (рисунок 1) являются наиболее распространенными в современном строительстве благодаря своей прочности, долговечности и огнестойкости. Они подразделяются на монолитные, сборные и сборно-монолитные. Монолитные перекрытия изготавливаются путем заливки бетонной смеси по заранее установленной опалубке, армированной стальной сеткой. Их преимущество заключается в высокой несущей способности, отсутствии стыков и возможности создания сложных архитектурных форм. Однако устройство таких перекрытий требует значительных временных и трудовых затрат [1-3]. Состоят из заводских изделий, таких как пустотные плиты, ребристые плиты или балки с плитами настила. Эти конструкции ускоряют процесс строительства, так как элементы поставляются на стройплощадку в готовом виде. Основной недостаток — необходимость применения подъемной техники и тщательной герметизации стыков для обеспечения звукоизоляции.



Рисунок 1 - Железобетонные перекрытия

Деревянные перекрытия (рисунок 2) чаще всего применяются в малоэтажном строительстве и зданиях с деревянным каркасом. Они обладают малым весом, просты в монтаже и экологичны. Конструкция включает несущие балки, настил и изоляционные материалы. Основной недостаток — низкая огнестойкость и подверженность воздействию влаги и биологических факторов, что требует обязательной обработки защитными составами. Размеры деревянных балок варьируются в зависимости от пролета и агрузки, обычно их сечение составляет от 50×150 мм до 100×250 мм.



Рисунок 2 - Деревянные перекрытия

Металлические перекрытия (рисунок 3) используются в промышленных зданиях, на складах и в конструкциях с большими пролетами. Основу составляют стальные балки, двутавры или фермы, поверх которых укладывается настил из профнастила или железобетонных плит. Металлические перекрытия обладают высокой несущей способностью, устойчивы к динамическим нагрузкам, но требуют антикоррозийной защиты и имеют высокий коэффициент теплопроводности, что обуславливает необходимость устройства теплоизоляции.

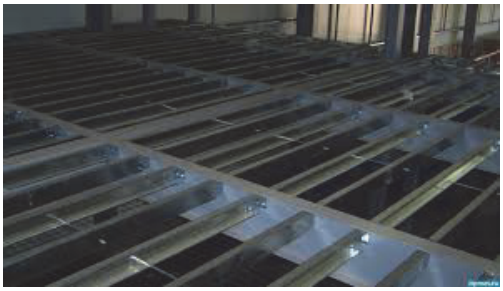


Рисунок 3 - Металлические перекрытия

Комбинированные перекрытия (рисунок 4) представляют собой конструкции, сочетающие в себе элементы из различных материалов. Например, металлические балки могут использоваться в сочетании с железобетонной плитой или деревянным настилом. Такое решение позволяет оптимизировать затраты и добиться необходимых эксплуатационных характеристик.



Рисунок 4 - Комбинированные перекрытия

Материалы для перекрытий

Выбор материалов для устройства перекрытий зависит от требований по прочности, звукоизоляции, огнестойкости и стоимости строительства. Железобетон применяется там, где требуются высокие несущие способности и долговечность. Для армирования используются стальные прутья класса А-III диаметром от 8 до 16 мм, а бетон изготавливается на основе портландцемента с маркой не ниже М300.

Дерево — традиционный материал для строительства перекрытий в частных домах и коттеджах. Для балок применяются хвойные породы, такие как сосна или ель, которые обеспечивают необходимое сочетание прочности и легкости конструкции. При устройстве деревянных перекрытий особое внимание уделяется защите от возгорания и биологических повреждений с помощью антисептиков и огнезащитных составов.

Металл, преимущественно сталь, используется в перекрытиях, где необходима высокая прочность при больших пролетах и значительных нагрузках. Для повышения устойчивости к коррозии металлические элементы покрываются специальными составами или оцинковываются.

Особенности конструирования перекрытий

Проектирование перекрытий требует учета множества факторов, таких как тип здания, эксплуатационные нагрузки, климатические условия и требования к звуко- и теплоизоляции. Для обеспечения прочности и долговечности конструкции необходимы расчеты несущей способности, прогиба и общей устойчивости. При конструировании железобетонных перекрытий особое внимание уделяется правильному армированию, толщине плиты и устройству деформационных швов. Деревянные перекрытия проектируются с учетом шага укладки балок и применения изоляционных материалов для повышения звукоизоляции и защиты от влаги. Металлические конструкции требуют установки анкерных креплений и обеспечения устойчивости к коррозии. Важной частью проектирования является устройство изоляционных слоев. Для защиты от шума применяются звукоизоляционные материалы на основе минеральной ваты или пенополиуретана, а для тепловой изоляции — экструдированный пенополистирол или вспененный полиэтилен.

Выбор типа перекрытия и материалов для его устройства определяется рядом факторов, таких как назначение здания, нагрузки, требования к изоляции и стоимость строительства. Каждый тип перекрытия обладает своими преимуществами и ограничениями, которые необходимо учитывать при проектировании. Соблюдение строительных норм и применение современных материалов позволяет создавать прочные, долговечные и надежные конструкции, соответствующие всем требованиям эксплуатации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

1. Эффективные тонкостенные железобетонные оболочки переменной жесткости / Е. В. Журавлева, В. А. Дзюба // Региональные аспекты развития науки и образования в об-

ласти архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 206-208. – EDN GIMMLB.

2. О возможностях пустотных монолитных перекрытий / Я. Ху, О. Е. Сысоев, И. В. Погорельских // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 176-179. – EDN CVFRFE.

3. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е. В. Журавлева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 203-206. – EDN TLFGIH.

УДК 691

Бедина Полина Викторовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bedina Polina Viktorovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Рубашова Виктория Андреевна студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Козлович Вячеслав Дмитриевич студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kozlovich Viacheslav Dmitrievich student, Komsomolsk-na-Amur State University
Катунцева Наталья Леонидовна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Katuntseva Natalia Leonidovna, Head of the Department, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amur State University.

ИННОВАЦИОННЫЕ БЕЗОПАСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

INNOVATIVE SAFE MATERIALS FOR MODERN CONSTRUCTION

Аннотация. В условиях роста населения современное строительство сталкивается с новыми вызовами в области безопасности и экологии. В статье рассматриваются инновационные безопасные материалы акцентируя внимание на их экологической чистоте и долговечности. Обсуждаются недостаточная устойчивость традиционных материалов к экстремальным погодным условиям, механическим повреждениям и агрессивной среде, а также их ограниченная долговечность, которая приводит к частым ремонтам и увеличению затрат на содержание зданий.

Abstract. With a growing population, modern construction is facing new challenges in the field of safety and ecology. The article discusses innovative safe materials, focusing on their environmental friendliness and durability. The paper discusses the insufficient resistance of traditional materials to extreme weather conditions, mechanical damage and aggressive environments, as well as their limited durability, which leads to frequent repairs and increased maintenance costs for buildings.

Ключевые слова: биоматериалы, инновации, строительство.
Keywords: biomaterials, innovation, construction.

Современное строительство вступает в эру значительных преобразований, вызванных необходимостью реагирования на новые вызовы в области устойчивости, безопасности и экологичности. Традиционные строительные материалы нередко оказываются не готовыми к испытаниям, которые ставят перед ними экстремальные погодные условия, механические нагрузки и агрессивные факторы окружающей среды. Это создает настоятельную потребность в разработке инновационных безопасных материалов, способных обеспечить долговечность, снизить токсичность и улучшить эксплуатационные характеристики зданий. В современном строительстве активно внедряются инновационные безопасные материалы, которые не только улучшают эксплуатационные характеристики зданий, но и минимизируют негативное воздействие на окружающую среду. Рассмотрим некоторые из них подробнее. Светящийся цемент (рисунок 1), или люмобетон, — это поистине уникальный строительный материал, который способен преобразить представление о современных отделочных работах. Он способен накапливать солнечный свет в течение дня и после излучать его в темноте. Этот материал обладает потрясающей прочностью и стойкостью к ударам, что делает его надежным выбором для любых конструкций. Он устойчив к ярким солнечным лучам, экстремальным температурам и высоким уровням влажности, так что можно не переживать за его долговечность даже в сложных климатических условиях. Люмобетон имеет высокие огнестойкие свойства, что делает его негорючим, что также добавляет дополнительный уровень безопасности [1-3]. А благодаря специальным добавкам, этот бетон имеет водонепроницаемость и морозостойкость, что позволяет использовать его в самых разных уголках нашей страны, где климат может быть капризным.



Рисунок 1 – Люмобетон

Самовосстанавливающийся бетон (рисунок 2). Эта революционная технология использует специальные бактерии, вырабатывающие известь, для «заживления» трещин в растворе. Такой подход значительно продлевает срок службы конструкции и снижает потребность в техническом обслуживании [3-5]. Открытия в этой области открывают новые горизонты для устойчивого строительства, минимизируя воздействие на окружающую среду за счет сокращения отходов и необходимости ремонта.



Рисунок 2 – Самовосстанавливающийся бетон

Автоклавный газобетон (рисунок 3) – это удивительный искусственный строительный материал с пористой структурой, который завоевал популярность в строительстве бла-

годаря своей легкости и отличной звукоизоляции. Среди преимуществ можно выделить прочность и низкую теплопроводность, что делает его идеальным для создания комфортного микроклимата. Легкий вес облегчает процесс работы, его легко резать и шлифовать благодаря чему строители могут реализовывать самые смелые идеи без лишних усилий. К тому же этот материал устойчив к плесени и экологически чистый, что важно для здоровья обитателей зданий. Его огнеупорные свойства позволяют возводить конструкции быстро и безопасно. Но не смотря на его преимущества он может быть хрупким, а также его стоимость высока.



Рисунок 3 – Автоклавный газобетон

Клинкерный кирпич (рисунок 4) – это керамический материал, производимый из особого вида глины и обжигается при температуре около 1200 °С. Он обладает высокой прочностью из-за чего крайне востребованн в строительстве. Кроме того, клинкерный кирпич имеет отличную морозостойкость и износостойкость, что позволяет сохранять свои свойства на протяжении длительного времени.



Рисунок 4 – Клинкер

Линокорм (рисунок 5) – это рулонный кровельный и гидроизоляционный материал, содержащий битум. Он используется для гидроизоляции крыш, стен и фундаментов, благодаря своим водоотталкивающим свойствам. Линокорм состоит из стеклохолста и полиэстера, что обеспечивает его долговечность и надежность.



Рисунок 5 – Линокорм

Графен (рисунок 6) – это инновационный строительный материал, представляющий собой единый атомный слой атомов углерода, организованных в гексагональную решетку. При аккуратном укладывании листов графена друг на друга формируются трехмерные структуры. Графен в десять раз прочнее стали при плотности 5%, что делает его идеальным

для создания цилиндрических конструкций, поддерживающих небоскребы и другие высокие здания.

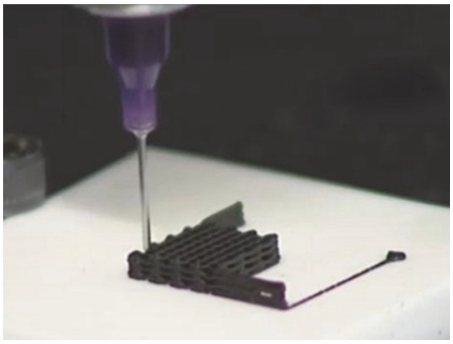


Рисунок 6 – Графен

Таким образом, интеграция инновационных безопасных материалов в современное строительство оказывается ключевым шагом к решению насущных проблем, связанных с устойчивостью и безопасностью. Эти материалы не только способны значительно повысить эксплуатационные характеристики зданий, но и минимизировать негативное воздействие на здоровье людей и окружающую среду. Переход к новым стандартам в строительной отрасли, основанным на использовании экологически чистых и долговечных решений, станет основой для создания более устойчивой и безопасной городской инфраструктуры. Инвестирование в исследования и разработки в этой сфере откроет новые горизонты для будущего строительства, способствуя формированию комфортных и безопасных условий для жизни каждого из нас.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дацко Е.Д., Сысоев О.Е. Высокопрочные бетоны / Дацко Е.Д., Сысоев О.Е.// В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 124-126.

2. Величко, Е.Г. Строение и основные свойства строительных материалов: учебное пособие / Е.Г. Величко. - М.: ЛКИ, 2014.

3. Макаренко, О. И. Инновационные императивы развития современных строительных материалов и технологий в жилищном строительстве / О. И. Макаренко // Жилищные стратегии. – 2023. – Т. 10, № 1.

4. Дацко Е.Д., Сысоев О.Е. Развитие экологичных технологий в строительстве / Малов М.Н., Сысоев Е.О// В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 362-365.

5. Азимзода Ш.С., Сысоев О.Е.Гидроизоляция фундаментов при высоких грунтовых водах / Азимзода Ш.С., Сысоев О.Е.//В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 113-114.

УДК 697

Бедина Полина Викторовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bedina Polina Viktorovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Журавлева Екатерина Викторовна, старший преподаватель, кафедра «Строительство и архитектура», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ekaterina Viktorovna Zhuravleva, Clerk, Senior Lecturer, Department of Construction and Architecture, Komsomolsk-na-Amur State University

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

MODERN SYSTEMS OF AUTONOMOUS HEAT SUPPLY OF BUILDINGS

Аннотация. Современные системы автономного теплоснабжения зданий играют ключевую роль в энергоэффективном строительстве. Они обеспечивают независимость от централизованных источников тепла, что особенно актуально для удаленных и загородных объектов. Особое внимание следует уделять интеграции возобновляемых источников энергии, что позволяет существенно снизить углеродный след и сократить эксплуатационные расходы.
Abstract. Modern autonomous heat supply systems for buildings play a key role in energy efficient construction. They ensure independence from centralized heat sources, which is especially important for remote and suburban facilities. Special attention should be paid to the integration of renewable energy sources, which can significantly reduce the carbon footprint and reduce operating costs.
Ключевые слова: теплоснабжение, энергоресурсы, системы.
Keywords: heat supply, energy resources, systems.

Системы автономного теплоснабжения – это передовые и децентрализованные системы, позволяющие обеспечить теплом отдельные здания или группы строений, не полагаясь на центральные источники. В современных условиях цены на энергоресурсы быстро растут, а потребность в энергоэффективности все повышается благодаря чему такие системы становятся все более популярней. Они отвечают нынешним требованиям стремясь к использованию экологически чистых технологий и поддержанию устойчивого развития. Рассмотрим подробнее некоторые примеры таких систем, а также их преимущества и недостатки.

1. Автономные газовые котельные (рисунок 1) – это одно из наиболее популярных решений в России. Такое оборудование обеспечивают отопление и горячее водоснабжение, так как используют в качестве топлива природный газ.



Рисунок 1 – Автономные газовые котельные

Главное преимущество газовых котлов является низкая стоимость вырабатываемой энергии и высокая эффективность, позволяющая значительно сократить расходы на отопление, особенно это важно в холодном климате. Срок окупаемости этих установок составляет от 2 до 4 лет, что особенно привлекательно владельцем недвижимости. Учитывая компактные размеры современных котлов их легко можно вписывать в ограниченное пространства, а благодаря быстрой установки они оперативно вводятся в эксплуатацию. Однако стоит учесть, что такая система зависит от наличия газовой инфраструктуры, что не дает использовать данное оборудование в некоторых регионах. При эксплуатации следует строгого соблюдать правила безопасности и регулярно обслуживать, что увеличивает затраты для владельцев [1-3].

2. Системы, использующие альтернативные источники энергии (рисунок 2) – это инновационные решения, основанные на возобновляемых ресурсах, примером служит солнечная, ветровая энергия. Такие источники обеспечивают дома теплом и горячей водой. Часто применяют гибридные схемы таких систем, например, сочетание ветрогенераторов и солнечных панелей.



Рисунок 2 – Системы альтернативных источников энергии

Среди главных преимуществ экологичность, так как они снижают углеродный след и минимизируют негативное воздействие на окружающую среду. Также, такие системы способствуют энергетической независимости, позволяя использовать местные ресурсы для генерации энергии и снижая зависимость от традиционных видов топлива и колебаний цен на них. Тем не менее, начальные вложения в установку оборудования могут быть довольно значительными, что может отпугнуть потенциальных клиентов. Кроме того, эффективность таких систем во многом зависит от климатических условий: солнечные панели могут демонстрировать низкие показатели производительности в пасмурную погоду, что ограничивает их применение в некоторых регионах.

3. Системы геотермальных насосов (рисунок 3) представляют собой передовое решение для отопления и охлаждения зданий, использующим стабильное тепло, находящееся под земной поверхностью. Эти системы обеспечивают комфортный микроклимат в течение всего года, однако их установка требует значительных финансовых вложений, а срок окупаемости может составлять 20–30 лет.

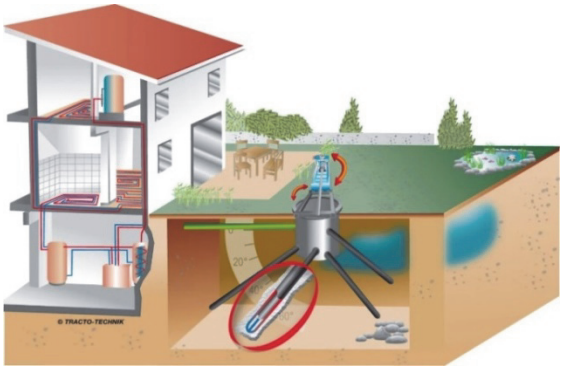


Рисунок 3 – Системы геотермальных насосов

Одним из самых привлекательных преимуществ геотермальных систем является их высокая энергоэффективность. Используя постоянную температуру, находящуюся в недрах земли, такие системы существенно снижают расходы на отопление и охлаждение. Кроме того, они отличаются длительным сроком службы: при надлежащем обслуживании могут функционировать более 25 лет, что делает их разумным выбором для тех, кто ищет долгосрочные инвестиции [3-5]. Тем не менее, стоит учесть некоторые недостатки. Первоначальные вложения на установку геотермальных насосов варьируются от 1 до 3 миллионов рублей. Срок окупаемости таких инвестиций может колебаться от 20 до 30 лет, что может отпугнуть потенциальных клиентов. Кроме того, процесс установки требует специализированных знаний и оборудования для бурения и прокладки труб, что добавляет дополнительные сложности и может увеличить общие затраты. Классификация систем автономного теплоснабжения (рисунок 4)

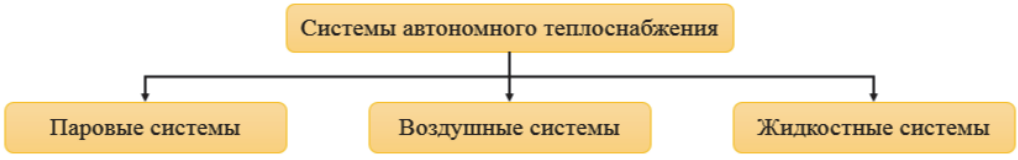


Рисунок 4 – Классификация систем автономного теплоснабжения

Паровые системы. В этой категории теплоносителем служит водяной пар, а в качестве генератора тепла выступает отопительный паровой котел. Такие системы чаще всего находят применение в промышленности и на крупных объектах с высокими тепловыми нагрузками. Они обеспечивают надежное и эффективное теплоснабжение, способствуя комфортным условиям даже при больших объемах потребления. Воздушные системы. Эти системы не требуют промежуточного теплоносителя, что значительно упрощает их эксплуатацию. Они позволяют объединить функции отопления, вентиляции и кондиционирования в одной установке, например, в системах «воздух-воздух». Несмотря на простоту установки и обслуживания, их эффективность может снижаться при низких температурах. Жидкостные системы. В этой категории теплоносителем выступает вода или антифриз. Для повышения скорости циркуляции используются насосы с принудительной циркуляцией, что обеспечивает высокую эффективность работы системы. Жидкостные системы гарантируют равномерное распределение тепла по помещению, создавая комфортную атмосферу для жильцов. Системы автономного теплоснабжения представляют собой инновационное и многообещающее решение для обогрева отдельных зданий, особенно в условиях растущих требований к энергоэффективности. Благодаря своему подходу, эти системы повышают комфорт и независимость пользователей, а также снижают зависимость от централизованных источников тепла, что особенно важно для удаленных или сельских территорий. Это способствуют более рациональному расходованию ресурсов, что в свою очередь позволяет оптимизировать энергетические затраты и выбрать наиболее подходящие источники в зависимости от конкретных условий эксплуатации. Это может включать использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные коллекторы или тепловые насосы, что помогает уменьшить углеродный след и поддержать экологический баланс.

Перед тем как остановить свой выбор на автономной системе теплоснабжения, следует внимательно оценить её экономические и эксплуатационные параметры. Что включает в себя начальные инвестиции и сроки окупаемости, а также постоянные расходы на обслуживание, и возможные риски, связанные с различными технологиями. Кроме того, необходимо учесть климатические особенности региона и доступность необходимых ресурсов. Эффективная реализация таких систем требует комплексного подхода и продуманного планирования, чтобы обеспечить надежное, комфортное и экономически оправданное теплоснабжение, при этом учитывая экологические аспекты.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Саидов И.Э., Сысоев О.Е. ЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ / Саидов И.Э., Сысоев О.Е. // В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 142-146.

2. Гапеева, Н.А. Автономное теплоснабжение высотных зданий / Н.А. Гапеева, О.Б. Жиленко // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – №10.

3. Аминов Р.Э., Сысоев О.Е. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТЬ УТЕПЛИТЕЛЯ ПРИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ЗДАНИЯ / Аминов Р.Э., Сысоев О.Е.// В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 303-306.

4. Шокирзода К.М., Сысоев Е.О. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ / Шокирзода К.М., Сысоев Е.О.//В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 195-199.

5. Гулиев И.Н.О., Сысоев Е.О. ПРОБЛЕМА СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ НА «ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ ГЕКТАРЕ» / Гулиев И.Н.О., Сысоев Е.О. // В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы X Международной

научно-практической конференции. В 2-х частях. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 165-168.

УДК 681.2:528
Бондарь Михаил Дмитриевич студент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет
Bondar Mikhail Dmitrievich student, Komsomolsk-na-Amur State University
Сысоев Олег Евгеньевич профессор, доктор технических наук, Комсомольск-на-Амуре государственный университет
Oleg Evgenievich Sysoev Professor, Doctor of Technical Sciences, Komsomolsk-na-Amur State University

АНАЛИЗ РЫНКА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОДАВАЕМОГО НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

ANALYSIS OF THE MARKET OF GEODETIC EQUIPMENT SOLD IN RUSSIA

Аннотация. В статье рассматривается различные методы сбора и анализа данных. Были проанализированы статистические данные, отражающие динамику импорта и продаж геодезического оборудования в России до и после введения санкций. Проведен анализ публикаций в специализированных изданиях, отчетов аналитических агентств и экспертных оценок. Также были проведены опросы представителей компаний, занимающихся производством, продажей и использованием геодезического оборудования на территории России. Методологической основой послужили принципы структурно-функционального анализа и системного подхода.
Ключевые слова: геодезическое оборудование, санкции, импортозамещение, российский рынок.
Abstract. The article examines various methods of data collection and analysis. Statistical data reflecting the dynamics of import and sales of geodetic equipment in Russia before and after the introduction of sanctions were analyzed. Publications in specialized publications, reports of analytical agencies and expert assessments were analyzed. Surveys of representatives of companies engaged in the production, sale and use of geodetic equipment in Russia were also conducted. The principles of structural and functional analysis and systems approach served as the methodological basis.
Key words: geodetic equipment, sanctions, import substitution, Russian market.

Введение экономических санкций западными странами в отношении России в 2022 году оказало значительное влияние на различные секторы экономики, включая рынок геодезического оборудования. Геодезическое оборудование, необходимое для проведения топографических, картографических и строительных работ, играет ключевую роль в инфраструктурном развитии и является важным элементом экономического роста. Целью данного исследования является анализ изменений, произошедших на российском рынке геодезического оборудования после введения санкций, выявление основных проблем и перспектив развития в новых условиях [1-4].

Влияние санкций на структуру рынка и поставки оборудования

Введение санкций привело к значительному сокращению поставок геодезического оборудования от западных производителей, таких как Trimble, Leica Geosystems, Topcon и других. Многие из этих компаний приостановили свою деятельность в России или значительно ограничили экспорт своей продукции. Это создало дефицит на рынке и привело к росту цен на оставшееся оборудование.

Структура рынка претерпела существенные изменения. До санкций основными игроками были иностранные производители, занимавшие значительную долю рынка. После введения санкций произошло перераспределение долей рынка в пользу отечественных производителей и поставщиков из стран, не присоединившихся к санкциям (Китай, Турция, Индия). Адаптация к новым условиям: импортозамещение и поиск альтернативных по-

ставщиков. В условиях дефицита и роста цен российские компании начали активно искать альтернативных поставщиков и развивать собственное производство геодезического оборудования. Была активизирована государственная поддержка отечественных производителей, направленная на стимулирование разработки и производства конкурентоспособной продукции. Импортозамещение стало одним из приоритетных направлений развития рынка геодезического оборудования. Российские компании, такие как ООО “Геоскан”, АО “НПП “Геофизика”, ООО “Навгеоком”(тут еще дополню), начали расширять ассортимент выпускаемой продукции и улучшать ее качество. Однако, необходимо отметить, что импортозамещение в полной мере сталкивается с рядом проблем, включая: недостаточный уровень развития отечественной компонентной базы, необходимость значительных инвестиций в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работы. Конкуренция с более дешевым импортным оборудованием. Альтернативные поставщики из стран, не присоединившихся к санкциям, стали играть более важную роль на российском рынке. Китайские производители геодезического оборудования, такие как ComNav Technology, Hi-Target Surveying Instrument Co., Ltd., Ruide Surveying Instrument Co., Ltd., значительно увеличили свою долю рынка. Турецкие и индийские производители также начали активно продвигать свою продукцию на российском рынке.

Изменения в ценовой политике и доступности оборудования

Сокращение поставок оборудования от западных производителей и увеличение спроса на отечественную продукцию привели к росту цен на геодезическое оборудование в России. Рост цен также был обусловлен девальвацией рубля и увеличением затрат на логистику. Доступность геодезического оборудования также ухудшилась. Сроки поставки оборудования увеличились, а ассортимент доступных моделей сократился. Это создало проблемы для компаний, занимающихся топографическими, картографическими и строительными работами, и привело к задержкам в реализации инфраструктурных проектов.

Технологическое отставание и перспективы развития

Одной из ключевых проблем российского рынка геодезического оборудования после введения санкций является технологическое отставание от мировых лидеров. Западные производители геодезического оборудования, такие как Trimble, Leica Geosystems и Topcon, обладают передовыми технологиями и инновационными решениями, которые недоступны для большинства российских производителей.

В условиях санкций российским компаниям необходимо активизировать собственные разработки и исследования, направленные на создание конкурентоспособного геодезического оборудования. Важным направлением развития является разработка и внедрение новых технологий, таких как:

- Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для аэрофотосъемки и 3D-моделирования.
- Системы лазерного сканирования.
- Технологии машинного обучения и искусственного интеллекта для обработки геодезических данных.
- Использование отечественных навигационных систем (ГЛОНАСС) и систем дифференциальной коррекции.

Влияние на экономику и отрасли, использующие геодезическое оборудование

Ограниченная доступность и увеличение стоимости геодезического оборудования негативно сказались на различных секторах экономики, включая:

- Строительство: задержки в реализации строительных проектов, увеличение стоимости строительства.
- Топографию и картографию: снижение точности и оперативности проведения топографических и картографических работ.
- Землеустройство: осложнение процессов оформления земельных участков и кадастрового учета.
- Сельское хозяйство: снижение эффективности использования земельных ресурсов.

- Нефтегазовую промышленность: затруднение проведения геодезических работ при разведке и разработке месторождений.

Введение экономических санкций оказало значительное негативное влияние на российский рынок геодезического оборудования. Сокращение поставок от западных производителей, рост цен и ухудшение доступности оборудования создали серьезные проблемы для компаний, использующих геодезическое оборудование.

Однако, в новых условиях российские компании начали адаптироваться к изменившейся ситуации. Импортозамещение и поиск альтернативных поставщиков стали приоритетными направлениями развития рынка. Государственная поддержка отечественных производителей и активизация собственных разработок и исследований могут способствовать созданию конкурентоспособного геодезического оборудования и снижению зависимости от импорта.

Для успешного развития рынка геодезического оборудования в России необходимо:

- Усилить государственную поддержку отечественных производителей.
- Создать благоприятные условия для инвестиций в НИОКР.
- Развивать отечественную компонентную базу.
- Активно сотрудничать с зарубежными партнерами из стран, не присоединившихся к санкциям.
- Внедрять новые технологии и инновационные решения.

Успешная реализация этих мер позволит российскому рынку геодезического оборудования преодолеть негативные последствия санкций и обеспечить устойчивое развитие различных секторов экономики. Дальнейшие исследования могут быть направлены на более детальный анализ отдельных сегментов рынка геодезического оборудования и выявление специфических проблем, с которыми сталкиваются различные категории пользователей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

1. Большакова, В. Д. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве / В. Д. Большакова. – М. : «Недра», 2018. - 345 с.

2. Мовшович М.М., Сысоев Е.О. К вопросу исследования аварийности на магистральных трубопроводах / Мовшович М.М., Сысоев Е.О.// В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 116-120.

3. Олейникова С.А., Демышев Н.Д., Сысоев Е.О. Проблема увеличения срока эксплуатации гидротехнических сооружений /Олейникова С.А., Демышев Н.Д., Сысоев Е.О.\\ В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 371-373.

4. Юшкина М.В., Шиверский А.И., Сысоев О.Е. BIM технологии и современные методы планирования/ Юшкина М.В., Шиверский А.И., Сысоев О.Е.// В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 164-166.

УДК 624 .012.35

Волошина Елена Олеговна, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Voloshina Elena Olegovna, masterstudent, Komsomolsk-na-Amure State University

Дзюба Виктор Александрович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Dzyuba Viktor Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Komsomolsk-na-Amure State University

РАСЧЕТ КРИВИЗНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СЕЧЕНИЙ ДИАГРАММНЫМ МЕТОДОМ

CALCULATION OF THE CURVATURE OF REINFORCED CONCRETE SECTIONS BY YHE DIAGRAMMATIC METHOD

Аннотация. Рассмотрена методика расчета ндс железобетонного сечения при изгибе с использованием билинейных диаграмм сжатого бетона и растянутой арматуры. Составлены уравнения равновесия для случаев, когда бетон и арматура работают в упругой стадии, а также когда бетон работает упруго, а арматура находится на площадке текучести. Получены выражения для определения кривизны.
Abstract. A method for calculating the stress-strain state of a reinforced concrete section during bending using bilinear diagrams of compressed concrete and tensile reinforcement is considered. Equilibrium equations have been compiled for the cases when concrete and reinforcement operate in the elastic stage, as well as when concrete operates elastically and the reinforcement is at the yield point. Expressions for determining curvature are obtained.
Ключевые слова: предельная деформация, кривизна, прочность бетона, плоское сечение, билинейная диаграмма.
Key words: limiting deformation, curvature, strength of concrete, plane section, bilinear diagram.

Применение реальных диаграмм деформирования позволяет улучшить качество проектирования железобетонных конструкций и повысить надежность принимаемых решений[1,2,3]. Нормы проектирования допускают использование криволинейных диаграмм деформирования бетона, а также двухлинейных диаграмм бетона и арматуры [4,5] .

Будем рассматривать условные билинейные диаграммы бетона и арматуры для расчета сечений. Общий вид диаграмм приведен на рисунке 1.

Очевидно, что при нагружении железобетонного сечения возможны следующие комбинации соотношений деформаций сжатого бетона и растянутой арматуры.

1) Деформации бетона и арматуры находятся в упругой стадии, то есть деформации на крайнем сжатом волокне $\varepsilon_{bf} < 2\cdot10^{-3}$ и деформации в растянутой арматуре $\varepsilon_s < 2\cdot10^{-3}$. В этом случае усилие в сжатом бетоне определяется выражением $N_b = \frac{0{,}5b E_b \varepsilon_{bf}^2}{æ}$, а усилие в растянутой арматуре будет равно $N_s = E_s A_s\left(æ\, h_0 - \varepsilon_{bf}\right)$. Сумма проекций усилий на продольную ось элемента может быть записана следующим образом $\frac{0{,}5b E_b \varepsilon_{bf}^2}{æ} - E_s A_s\left(æ h_0 - \varepsilon_{bf}\right) = 0$.

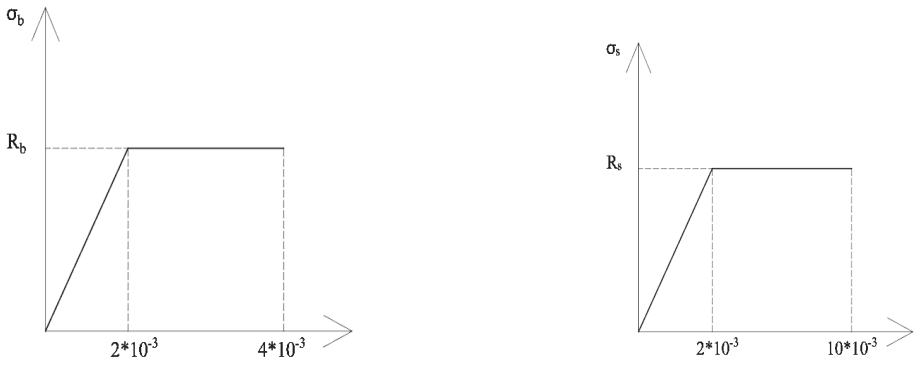


Рисунок 1 - Условные билинейные диаграммы сжатого бетона и растянутой арматуры

При этом для определения кривизны необходимо решить квадратное уравнение. В результате получаем выражение для кривизны

$$æ = \frac{\varepsilon_{bf}}{h_0 \cdot 2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{bf}}{h_0 \cdot 2}\right)^2 + \frac{0{,}5b E_b \varepsilon_{bf}^2}{E_s A_s h_0}}.$$

2) Деформации сжатого бетона находятся в упругой стадии, а растянутая арматура работает на площадке текучести, то есть $\varepsilon_{bf} < 2\cdot10^{-3}$, а $\varepsilon_s > 2\cdot10^{-3}$. В этом случае расчетные зависимости получаются следующим образом. Усилие в сжатом бетоне также описывается выражением $N_b = \frac{0{,}5bE_b\varepsilon_{bf}^2}{æ}$, а усилие в растянутой арматуре при постоянном напряжении в ней R_s будет равно $N_s = R_sA_s$. Тогда выражение для суммы проекций будет иметь вид $\frac{0{,}5bE_b\varepsilon_{bf}^2}{æ} - R_sA_s = 0;\ 0{,}5bE_b\varepsilon_{bf}^2 - R_sA_s \cdot æ = 0$. Отсюда формулу для вычисления кривизны можно записать в следующем виде $æ = \frac{0{,}5bE_b\varepsilon_{bf}^2}{R_sA_s}$Рассмотрим на примере поведение железобетонного сечения при различных уровнях нагружения. В качестве исходных данных приняты:

b=20см; h_0=54см; As=10.8 см^2; Rs=400 Мпа; $E_b=3\cdot10^4$ МПа; $Es=2\cdot10^5$ МПа. Тогда при $\varepsilon_{bf} = 0.1\cdot10^{-3}$

$$æ = \frac{0.1\cdot10^{-3}}{54\cdot2} + \sqrt{\left(\frac{0.1\cdot10^{-3}}{54\cdot2}\right)^2 + \frac{0{,}5\cdot20\cdot3\cdot10^4\cdot(0.1\cdot10^{-3})^2}{2\cdot10^5\cdot10{,}8\cdot54}} = 6{,}084\cdot10^{-6}\ 1/\text{см};$$

$$\varepsilon_s = æ\cdot h_0 - \varepsilon_{bf} = 6{,}084\cdot10^{-6}\cdot54 - 0.1\cdot10^{-3} = 0{,}2284\cdot10^{-3}.$$

При $\varepsilon_{bf} = 0.5\cdot10^{-3}$ $æ = 3{,}041\cdot10^{-5}$ 1/см и $\varepsilon_s = 1{,}142\cdot10^{-3}$;

при $\varepsilon_{bf} = 0.8\cdot10^{-3}$ $æ = 4{,}865\cdot10^{-5}$ 1/см и $\varepsilon_s = 1{,}827\cdot10^{-3}$;

при $\varepsilon_{bf} = 0.85\cdot10^{-3}$ $æ = 5.169\cdot10^{-5}$ 1/см и $\varepsilon_s = 1{,}941\cdot10^{-3}$.

Дальнейшее увеличение нагрузки переводит работу арматуры в пластическое состояние. Поэтому используется линейное выражение для вычисления кривизны.

при $\varepsilon_{bf} = 0.9\cdot10^{-3}$

$$æ = \frac{0{,}5bE_b\varepsilon_{bf}^2}{R_sA_s} = \frac{0.5\cdot20\cdot3\cdot10^4\cdot(0.9\cdot10^{-3})^2}{400\cdot10.8} = 5.625\text{x}10^{-5}\ 1/\text{см};$$

$$\varepsilon_s = æ\cdot h_0 - \varepsilon_{bf} = 5.625\text{x}10^{-5}\cdot54 - 0.9\cdot10^{-3} = 2.138\text{x}10^{-3}.$$

При $\varepsilon_{bf} = 1.0\cdot10^{-3}$ $æ = 6.944\cdot10^{-5}$ 1/см и $\varepsilon_s = 2.75\cdot10^{-3}$;

при $\varepsilon_{bf} = 1.5\cdot10^{-3}$ $æ = 15.63\cdot10^{-5}$ 1/см и $\varepsilon_s = 6.94\cdot10^{-3}$;

при $\varepsilon_{bf} = 1.8\cdot10^{-3}$ $æ = 22.5\cdot10^{-5}$ 1/см и $\varepsilon_s = 10.3*10^{-3}$;

при $\varepsilon_{bf} = 2.0\cdot10^{-3}$ $æ = 27.76\cdot10^{-5}$ 1/см и $\varepsilon_s = 12.99\cdot10^{-3}$.

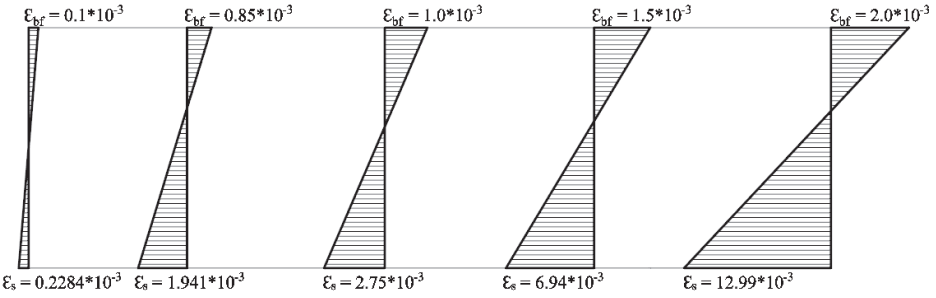


Рисунок 2 – Распределение деформаций по высоте сечения при изменении нагрузки

Данный расчет показывает поведение сечения под нагрузкой и позволяет увидеть наступление стадии разрушения, когда арматура находится на площадке текучести и сжатый бетон достигает предельных деформаций .В приведенном примере построены графики изменения деформаций в упругой и пластической стадиях арматуры , а также вычислены соответствующие кривизны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Карпенко Н. И. К оценке прочности, жесткости, момента образования трещин и их раскрытия в зоне чистого изгиба железобетонных балок с применением нелинейной дефор-

мационной модели / Н. И. Карпенко, Б. С. Соколов, О. В. Радайкин // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск: Изд-во Сибстрин, 2016, № 3 (687) – С. 5-10.

2. Карпенко, Н.И. К построению общей методики расчета статически неопределимых стержневых железобетонных конструкций на основе метода конечных элементов / Н.И. Карпенко, Т.А. Мухамедиев, М.А. Сапожников // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. –№2. – С. 195.

3. Дзюба В.А. Применение составной функции диаграммы сжатого бетона для деформационной оценки конструкций / В. А. Дзюба, Ю. С. Глушакова // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2014. – № II-1(18). – С. 109-114.

4. Дзюба В. А. Параметры диаграмм «Момент-кривизна» железобетонных элементов с арматурой А500 на стадии близкой к разрушению. / В. А. Дзюба, Арсентьева К. А., Журавлева Е. В // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного университета. Науки о природе и технике. – 2024. – № I (73). – С. 68-74.

5. СП 63.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: Госстрой России, 2018. – 152 с.

УДК 624 .012.35

Волошина Елена Олеговна, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Voloshina Elena Olegovna, masterstudent, Komsomolsk-na-Amure State University
Дзюба Виктор Александрович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Dzyuba Viktor Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Komsomolsk-na-Amure State University

РАСЧЕТ ПЕРЕАРМИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СЕЧЕНИЙ ДИАГРАММНЫМ МЕТОДОМ

CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE SECTIONS WITH HIGH REINFORCEMENT CONTENT BY THE DIAGRAM METHOD

Аннотация. Рассмотрена методика расчета напряженно-деформированного состояния железобетонного сечения с повышенным содержанием растянутой арматуры при изгибе с использованием нелинейных диаграмм материалов. Записаны необходимые уравнения деформаций и формулы кривизны переармированных сечений.
Abstract. The article considers the calculation method of the stress-strain state of a reinforced concrete section with an increased content of stretched reinforcement during bending using nonlinear material diagrams. The necessary deformation equations and curvature formulas for over-reinforced sections are written down.
Ключевые слова: переармированное сечение, упругопластическая диаграмма, максимальная деформация, кривизна, текучесть арматуры, плоское сечение.
Key words: over-reinforced section, elastic-plastic diagram, maximum deformation, curvature, reinforcement yield, flat section.

Переармированные железобетонные сечения иногда используются при проектировании конструкций по тем или иным причинам. Повышенное содержание растянутой арматуры приводит в итоге к хрупкому разрушению конструкции, так как разрушение происходит по сжатому бетону[1,2,3,4]. Растянутая арматура остается в упругой стадии. Относительная высота сжатой зоны в таких конструкциях больше граничной относительной высоты сжатой зоны. Диаграммный метод позволяет точно оценить значения деформаций материалов и кривизну на стадии близкой разрушению, а также изгибную жесткость сечения[4,5]. Главным материалом для решения данной задачи будут являться уравнения равновесия и условные диаграммы Прандтля для бетона и арматуры, которые приведены на

рис.1 Рассмотрим поведение сечения изгибаемого железобетонного элемента, у которого сжатый бетон вышел на площадку текучести, а растянутая арматура находится в упругой стадии. До тех пор, пока бетон и арматура работают упруго, усилие в сжатом бетоне будет равно.

Величина кривизны на этих этапах определяется корнями квадратного уравнения

$$æ = \frac{\varepsilon_{bf}}{h_0 \cdot 2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{bf}}{h_0 \cdot 2}\right)^2 + \frac{0{,}5bE_b{\varepsilon_{bf}}^2}{E_s A_s h_0}}.$$

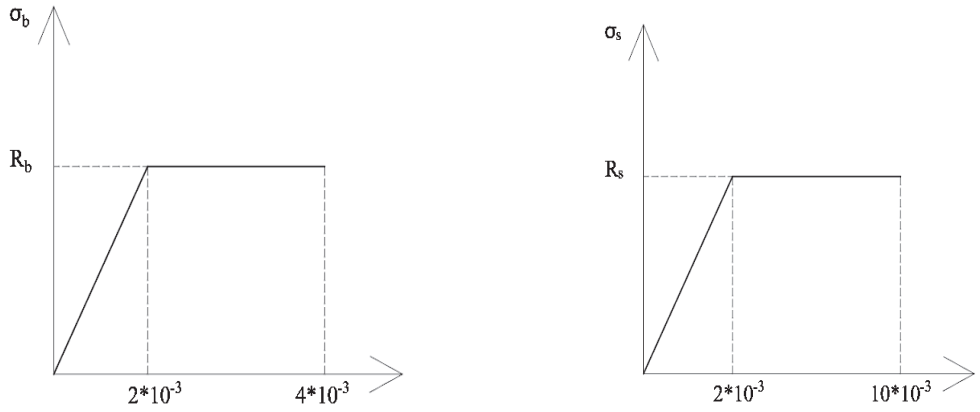


Рисунок 1 - Условные билинейные диаграммы сжатого бетона и растянутой арматуры

$N_b = \frac{0{,}5bE_b{\varepsilon_{bf}}^2}{æ}$, а в растянутой арматуре соответственно $N_s = E_s A_s\left(æ\, h_0 - \varepsilon_{bf}\right)$.

В переармированных сечениях на стадии близкой к разрушению сжатый бетон выходит на площадку текучести, то есть деформации в бетоне

$\varepsilon_{bf} > 2\cdot10^{-3}$. А растянутая арматура при ее большом количестве в сечении будет оставаться в упругой стадии $\varepsilon_s < 2\cdot10^{-3}$. Расчетные формулы в этом случае будут изменены.

При вычислении усилия в сжатом бетоне будем рассматривать его как сумму двух слагаемых

$$N_b = \frac{bx}{\varepsilon_{bf}}\int_0^{\varepsilon_{bf}} \sigma_b(\varepsilon_b)d\varepsilon_b = \frac{bx}{\varepsilon_{bf}}\left[\int_0^{2\cdot10^{-3}} E_b\,\varepsilon_b d\varepsilon_b + \int_{2\cdot10^{-3}}^{\varepsilon_{bf}} R_b\, d\varepsilon_b\right] = \frac{bx}{\varepsilon_{bf}}\left[\frac{E_b\cdot(2\cdot10^{-3})^2}{2} + (R_b\varepsilon_{bf} - R_b\cdot\, 2\cdot10^{-3})\right] = \frac{bx}{\varepsilon_{bf}}\left[E_b\cdot 2\cdot10^{-6} + (R_b\varepsilon_{bf} - R_b\cdot 2\cdot10^{-3})\right] = \frac{bx}{\varepsilon_{bf}}D = \frac{b\cdot\varepsilon_{bf}}{\varepsilon_{bf}\cdot æ}D = \frac{bD}{æ}.$$

Здесь введено обозначение

$D = E_b\cdot 2\cdot10^{-6} + \left(R_b\varepsilon_{bf} - R_b\cdot 2\cdot10^{-3}\right)$. Таким образом $N_b = \frac{bD}{æ}$.

Усилие в растянутой арматуре, работающей в упругой стадии,

$N_s = E_s A_s\left(æ\, h_0 - \varepsilon_{bf}\right)$. Тогда сумма проекций на продольную ось элемента

$N_b = N_s$, или $\frac{bD}{æ} - E_s A_s\left(æ\cdot h_0 - \varepsilon_{bf}\right) = 0$. После преобразований будем иметь $bD - E_s A_s h_0\cdot æ^2 + E_s A_s\,\varepsilon_{bf} æ = 0$ и $æ^2 - \frac{\varepsilon_{bf}}{h_0} æ - \frac{bD}{E_s\cdot A_s\cdot h_0} = 0$.

Решение квадратного уравнения получается в следующем виде

$$æ_{1,2} = \frac{\varepsilon_{bf}}{2\cdot h_0} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{bf}}{2\cdot h_0}\right)^2 + \frac{bD}{E_s\cdot A_s\cdot h_0}}.$$

Рассмотрим на примере поведение переармированного железобетонного сечения при деформациях в сжатом бетоне на площадке текучести. В качестве исходных данных приняты:

b=20см; h_0=54см; As=31.5 см^2; R_b =22 МПа; Rs=400 МПа; E_b=1,1·10^4 МПа; Es=2·10^5 МПа; ξ_R = 0,53см . Тогда при $\varepsilon_{bf} = 2.2\cdot10^{-3}$

$$æ = \frac{2.2\cdot10^{-3}}{54\cdot2} + \sqrt{\left(\frac{2.2\cdot10^{-3}}{54\cdot2}\right)^2 + \frac{20\cdot2{,}64\cdot10^{-2}}{2\cdot10^5\cdot31{,}5\cdot54}} = 0{,}06446\cdot10^{-3}\ 1/\text{см};$$

$$\varepsilon_s = æ\cdot h_0 - \varepsilon_{bf} = 0{,}06446\cdot10^{-3}\cdot54 - 2.2\cdot10^{-3} = 1{,}2808\cdot10^{-3}.$$

Проверим значения усилий в сжатом бетоне и растянутой арматуре при вычисленной кривизне. Усилие в растянутой арматуре $N_s = 1{,}2808 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{5} \cdot 31{,}5 = 806{,}93$кН. Усилия в сжатом бетоне будем вычислять по деформациям сжатой зоны. Фактически мы имеем, что до значений деформаций равных $2 \cdot 10^{-3}$ напряжения в бетоне меняются по треугольному закону, а далее - по прямоугольному.

Высота сжатой зоны бетона $x = \frac{\varepsilon_{bf}}{æ} = \frac{2.2 \cdot 10^{-3}}{0.06446 \cdot 10^{-3}} = 34.129$ см. Расстояние от нейтральной оси до волокна с деформацией $2 \cdot 10^{-3}$ составит $34{,}129 \cdot 2/2{,}2 = 31{,}02$см. Тогда усилие в сжатом бетоне в пределах треугольной эпюры напряжений $N^{l}_{b} = \frac{22}{2} \cdot 20 \cdot 31{,}02 = 682{,}4$ кН, а в пределах прямоугольной $N^{2}_{b} = 22 \cdot (34{,}129 - 31{,}02) \cdot 20 = 136{,}8$кН и $\sum N = 682{,}4 + 136{,}8 = 819{,}2$кН.

Расхождения в усилиях составляют 1,5%.

Данный расчет позволяет оценить деформации бетона и арматуры на всех ступенях нагружения переармированного сечения. Расчет позволяет оценить наполняемость сжатой зоны прямоугольной эпюрой, степень деформаций в растянутой арматуре в долях от деформаций текучести, определять точные значения изгибной жесткости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Байков В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс. / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов // Стройиздат, Москва, 1991. - 767 с.

2. Карпенко, Н.И. К построению общей методики расчета статически неопределимых стержневых железобетонных конструкций на основе метода конечных элементов / Н.И. Карпенко, Т.А. Мухамедиев, М.А. Сапожников // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. –№2. – С. 195.

3. Дзюба В.А. Применение составной функции диаграммы сжатого бетона для деформационной оценки конструкций / В. А. Дзюба, Ю. С. Глушакова // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2014. – № II-1(18). – С. 109-114.

4. Дзюба В. А. Параметры диаграмм «Момент-кривизна» железобетонных элементов с арматурой А500 на стадии близкой к разрушению. / В. А. Дзюба, Арсентьева К. А., Журавлева Е. В // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного университета. Науки о природе и технике. – 2024. – № I (73). – С. 68-74.

5. СП 63.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: Госстрой России, 2018. – 152 с.

УДК 69.07

Дементьев Даниил Игоревич, студент, Российский университет транспорта (МИИТ)
Daniil Igorevich Dementjev, student, Russian University of Transport (MIIT) Шагина Василиса Андреевна, магистрант, Российский университет транспорта (МИИТ)
Vasilisa Andreevna Shagina, postgraduate student, Russian University of Transport (MIIT)
Скворцов Александр Дмитриевич, старший преподаватель, Российский университет транспорта (МИИТ)
Skvortsov Alexander Dmitrievich, Senior Lecturer, Russian University of Transport (MIIT)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ

METHODS OF ASSESSING THE LIFE CYCLE OF BUILDINGS

Аннотация. В статье рассматривается проблема оценки жизненного цикла здания, которая позволяет определить его экологическую, экономическую и социальную эффективность на протяжении всего срока службы. Показана возможность анализа жизненного цикла здания с помощью ТИМ-технологий, которые позволяют учесть влияние, в том числе, регулярного

технического обслуживания, проведения геотехнического и геодезического мониторинга, эффективного управления зданием и использования инновационных технологий.
Annotation. The article examines the problem of assessing the life cycle of a building, which allows determining its environmental, economic and social efficiency throughout its service life. It shows the possibility of analyzing the life cycle of a building using TIM technologies, which allow taking into account the impact of, among other things, regular maintenance, geotechnical and geodetic monitoring, effective building management and the use of innovative technologies.
Ключевые слова: жизненный цикл здания, проектирование, эксплуатация, демонтаж, энергетическая эффективность, мониторинг.
Keywords: building life cycle, design, operation, dismantling, energy efficiency, monitoring.

Жизненный цикл здания является важной темой в современном строительстве и архитектуре, привлекающей все большее внимание исследователей, проектировщиков и специалистов в области устойчивого развития. Оценка жизненного цикла зданий позволяет определить его экологическую, экономическую и социальную эффективность на протяжении всего срока службы [1]. Такой анализ позволяет выявить наиболее оптимальные решения в области проектирования и управления зданием.

Рассмотрим различные подходы и инструменты, используемые для проведения анализа жизненного цикла зданий. Они включают в себя жизненный цикл анализ (LCA), оценку энергетической эффективности, оценку воздействия на окружающую среду, оценку социального воздействия и другие. Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и ограничения, и их применение зависит от целей и задач исследования.

1. Жизненный цикл анализ (LCA).

LCA - это комплексный метод, который оценивает все аспекты воздействия здания на окружающую среду на протяжении всего его жизненного цикла. Он учитывает все этапы, включая добычу и обработку сырья, производство, строительство, эксплуатацию, снос и утилизацию здания. LCA учитывает различные факторы, такие как энергопотребление, выбросы в атмосферу, загрязнение воды, использование ресурсов и другие экологические аспекты.

2. Оценка энергетической эффективности.

Данный метод определяет энергопотребление здания на различных этапах его жизненного цикла, включая строительство, эксплуатацию и реконструкцию. Он позволяет определить, насколько эффективно здание использует энергию, а также выявить возможности для снижения энергетических затрат и использование возобновляемых источников энергии.

3. Оценка воздействия на окружающую среду.

Этот метод анализирует влияние здания на окружающую среду, включая выбросы загрязняющих веществ в воздух и воду, опасные отходы и использование природных ресурсов. Он помогает оценить экологические риски и выявить возможности для сокращения негативного воздействия на окружающую среду.

4. Оценка социального воздействия.

Этот метод учитывает влияние здания на общество и его пользователей. Он оценивает такие аспекты, как безопасность, здоровье и комфорт, доступность здания для людей с ограниченными возможностями и другие факторы, которые влияют на качество жизни людей, использующих здание.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, и их выбор зависит от целей и задач анализа. Комбинирование различных методов может помочь получить более полную картину о влиянии здания на окружающую среду, экономику и общество, что позволяет принимать более обоснованные решения в области строительства.

При проектировании зданий также учитываются требования действующих нормативных документов, в которых содержатся сроки эксплуатации зданий (таблица 1). Ниже приведем выдержки из некоторых документов.

Таблица 1– Сроки эксплуатации зданий

Наименование объектов	Срок службы	Нормативный документ
Временные здания и сооружения	10 лет	ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»
Сооружения, эксплуатируемые в условиях сильноагрессивных сред	Не менее 25 лет	
Здания жилищно-гражданского и производственного строительства в обычных условиях эксплуатации	Не менее 50 лет	
Уникальные здания и сооружения (за исключением высотных)	100 лет и более	
Уникальные здания высотой от 75 до 100 метров	100 лет и более	ГОСТ 27751-2014, СП 267.1325800.2016
Уникальные здания и сооружения высотой 100-250 метров	150 лет и более	СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования»»
Уникальные здания и сооружения высотой более 250 метров	175 лет и более	

Также в сводах правил содержатся требования, направленные на повышение долговечности конструкций при работе в определенных условиях, например:

- в СП 356.1325800.2017 «Конструкции каркасные железобетонные сборные многоэтажных зданий. Правила проектирования» содержатся требования к расчету и конструированию сборных железобетонных конструкций каркасных зданий из тяжелого, мелкозернистого и легкого конструкционных бетонов для зданий высотой не более 75 м;

- в СП 27.13330.2017 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур» приведены положения, повышающие долговечность конструкции при действии высоких температур;

- в СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» – при работе конструкций в агрессивных средах.

Одной из основных проблем в анализе жизненного цикла зданий является недостаток данных и информации о различных факторах, влияющих на его эффективность. Недостаточные данные могут привести к неправильным выводам и рекомендациям при принятии решений, связанных с проектированием и эксплуатацией зданий. Еще одной проблемой является оценка взаимодействия между различными этапами жизненного цикла здания, такими как проектирование, строительство и эксплуатация. В современных реалиях технологический процесс развивается слишком быстро. Габариты помещений для размещения технологических линий и значения полезных нагрузок, учитываемые при проектировании, например, для производственных зданий, могут измениться за достаточно короткий срок (менее чем за 25 лет) [2-3]. Если здание невозможно переоборудовать или модернизировать под размещение нового оборудования, то может быть принято решение о его сносе, при том, что его срок эксплуатации еще не подошел к концу [4]. Становится понятно, что может быть выгоднее проектировать на заданный срок эксплуатации, который может быть меньше регламентированного нормативными документами. Это позволит сэкономить бюджет за счет снижения класса бетона, количества арматуры и других факторов. Для этого нужны коэффициенты, понижающие срок эксплуатации, строительства и соответствующее обоснование.

Жизнеспособность здания с пониженным сроком эксплуатации можно оценить при помощи ТИМ-технологий (BIM) в момент проектирования здания. В модель закладываются все характеристики здания и внешних факторов.

Анализ жизненного цикла здания с помощью ТИМ-технологий позволяет учесть влияние, в том числе следующих факторов:

1. Проектирование и материалы: правильный выбор конструктивных решений и использование экологически чистых материалов способствуют увеличению срока службы здания и снижению его негативного влияния на окружающую среду.

2. Энергетическая эффективность: энергоэффективные системы отопления, вентиляции и кондиционирования, а также использование возобновляемых источников энергии, позволяют снизить энергозатраты на протяжении всего жизненного цикла здания.

3. Обслуживание и эксплуатация: регулярное техническое обслуживание, проведение геотехнического и геодезического мониторинга, эффективное управление зданием и использование инновационных технологий помогают продлить срок службы здания и снизить вероятность возникновения дефектов, аварий и неисправностей [5].

Геодезические методы мониторинга позволяют отслеживать вертикальные и горизонтальные перемещения зданий и сооружений на протяжении всего жизненного цикла здания. Например, к вертикальным перемещениям относятся: осадки, прогибы подъемы сооружений. К горизонтальным перемещениям относятся сдвиги. Определение зон зданий и сооружений, подверженным подобным перемещениям, отличным от нормативных, а также выявление деформационных процессов в конструкциях вследствие подобных перемещений является основной задачей геодезического мониторинга. При проведении мониторинга с применением геодезических методов применяются нивелиры, теодолиты, тахеометры, сканеры и навигационные спутниковые системы (рисунок 1).

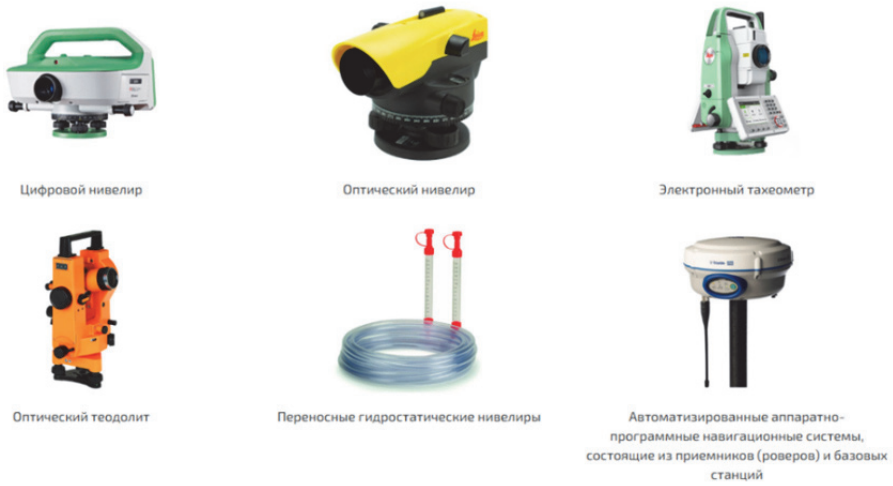


Рисунок 1 – Приборы применяемые для геодезического мониторинга

4. Реконструкция и модернизация: переоборудование и модернизация здания могут значительно увеличить его функциональность и эффективность, а также сократить необходимость в строительстве новых объектов.

5. Демонтаж и утилизация: правильное планирование и выполнение демонтажных работ, а также утилизация строительных отходов способствуют снижению негативного влияния на окружающую среду и дальнейшее использование материалов и компонентов здания.

Все вышеперечисленные аспекты жизненного цикла зданий должны учитываться при разработке стратегии управления зданиями. Это помогает оптимизировать затраты на эксплуатацию и обслуживание, улучшить энергоэффективность и экологическую устойчивость, а также обеспечить безопасность и комфорт для пользователей. Более того, правильное управление жизненным циклом здания способствует его увеличению стоимости на рынке недвижимости и улучшению репутации застройщика или владельца. Необходимо учитывать ограничения и проблемы, связанные с оценкой взаимодействия между различными этапами жизненного цикла здания. Дальнейшие исследования и работы в этой области помогут развивать новые подходы и решения для создания более эффективных зданий, в том числе при проектировании зданий на заданный срок эксплуатации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Совершенствование объёмно-планировочных и конструктивных решений большепролетных многоэтажных зданий на примере гаражей-стоянок со стальным каркасом / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 3. – С. 103-107. – EDN ZIOFDT.

2. Кодыш, Э. Н. Одноэтажные производственные здания с эксплуатируемыми площадями в межферменном пространстве / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 6. – С. 28-31. – EDN XRHQFF.

3. Совершенствование объёмно-планировочных и конструктивных решений большепролетных многоэтажных зданий на примере гаражей-стоянок со стальным каркасом / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 3. – С. 103-107. – EDN ZIOFDT.

4. Нормирование в области демонтажа и утилизации конструкций зданий и сооружений / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов, А. А. Кондратьев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2023. – № 8-2(83). – С. 156-160. – DOI 10.24412/2500-1000-2023-8-2-156-160. – EDN UZUFKY.

5. Критерии для оценки категории технического состояния железобетонных колонн, ригелей, балок и ферм / В. С. Федоров, Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 3(107). – С. 58-69. – DOI 10.33979/2073-7416-2023-107-3-58-69. – EDN ZTABZK.

УДК 694.05

Днепровский Никита Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Dneprovskiy Nikita Andreeevich, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Журавлева Екатерина Викторовна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Zhuravleva Ekaterina Viktorovna, graduate student, Komsomolsk-na-Amur State University

МЕТОДЫ ПРОГРЕВА БЕТОНА В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

METHODS OF CONCRETE HEATING IN WINTER CONDITIONS

Аннотация. В данной статье рассматриваются такие технологии, как метод термоса и использование тепловой пушки, электропрогрев, индукционный и инфракрасный метод. Кроме того, анализируются достоинства и особенности использования химических добавок, которые ускоряют твердение бетона и понижают температуру его замерзания.
Abstract. This article discusses technologies such as the thermos flask method and the use of a heat gun, electric heating, induction and infrared methods. In addition, the advantages and features of using chemical additives that accelerate the hardening of concrete and lower its freezing point are analyzed.

Ключевые слова: обогрев бетона, зимнее бетонирование, электрообогрев, индукционный нагрев, технологические процессы.
Key words: concrete heating, winter concreting, electric heating, induction heating, technological processes.

Процесс строительных работ в зимних условиях сопровождается большим количеством дополнительных задач. Выполнение бетонных работ в зимнее время отягощается дополнительным этапом – прогрев бетонной смеси, для поддержания необходимой температуры в период набора марочной прочности. Некорректное исполнение методов прогрева (или игнорирование этого этапа) приведёт к нарушению процесса гидратации, что не позволит бетону набрать проектной прочности [1,2].

Для прогрева бетонной смеси в зависимости от внешних условий применяются различные методы прогрева, такие как: метод термоса, методы искусственного электрообогре-

ва, метод с использованием противоморозных добавок. Остановимся и рассмотрим каждый из вышеперечисленных методов.

Метод термоса

Представляет собой экономически выгодное решение для зимнего бетонирования, хотя его применение требует учета множества параметров: теплофизических характеристик бетона, погодных условий и свойств используемого цемента. Технология реализации метода достаточно проста: на строительную площадку подается бетонная смесь с температурой 25-45°С. После укладки в опалубку конструкция тщательно изолируется (рисунок 1) теплозащитными материалами. Основной принцип заключается в сохранении оптимального температурного режима до достижения бетоном проектной прочности.

Эффективность метода напрямую зависит от способности сохранить накопленное тепло и предотвратить быстрое остывание бетонной смеси. При этом важно учитывать, что температура выше 45°С нежелательна, так как может привести к быстрому загустению смеси при транспортировке.



Рисунок 1 – Метод «термоса»

Методы искусственного электрообогрева

При зимнем бетонировании для обеспечения нормального твердения бетона применяют искусственное повышение температуры уложенной смеси. Основной принцип такой технологии заключается в создании и поддержании оптимальной температуры бетона на протяжении определенного времени, необходимого для достижения им требуемой прочности. Все методы искусственного прогрева базируются на преобразовании электрической энергии в тепловую. Это достигается двумя основными способами: непосредственным пропусканием тока через бетонную массу или использованием специальных нагревательных элементов [3, 4].

В зависимости от конкретных условий строительства и характеристик возводимой конструкции, применяются различные способы прогрева:

1) Электродный метод, при котором используются специальные электроды
2) Кондуктивный метод с применением нагревательных проводов
3) Индукционный метод, основанный на использовании электромагнитного поля
4) Инфракрасный метод с применением специального теплового излучения

Электродный прогрев

Является одним из самых эффективных методов. В бетон устанавливаются электроды (рисунок 2) или размещаются на поверхности. Они подключаются к трансформатору, и электрический ток нагревает бетонную смесь.



Рисунок 2 – Электродный прогрев

Обогрев различными электронагревательными устройствами

Обогрев различными электронагревательными устройствами — это универсальная технология термоизоляции, применяемая при строительстве монолитных многоэтажных зданий. Прогрев происходит изнутри конструкции. После укладки источника тепла (рисунок 3) заливается бетон, и по проводу пускают ток. Кабель не демонтируется.



Рисунок 3 – Закрепление нагревательных проводов на арматурном каркас

Индукционный обогрев

Используется для тепловой обработки длинномерных конструкций. Эта технология работает только с металлическими элементами, служащими сердечником в конструкции. Вокруг прогреваемой конструкции устанавливается индуктор, который включается в сеть переменного тока. Переменный электрический ток создаёт переменное электромагнитное поле, вызывающее вихревые токи. В результате повышается температура металла, и тепло передаётся бетону.

Инфракрасный обогрев

Данный метод основан на установке инфракрасных обогревателей (рисунок 4) на расстоянии 1–3 метров от залитой опалубки. Под воздействием электрического тока ТЭНы излучают энергию в инфракрасном диапазоне, которая передаётся бетону и преобразуется в тепловую, осуществляя прогрев всего массива. Мощность излучения выбирается так, чтобы температура на поверхности не превышала 80–93 °C. Высокая мощность нагрева может ухудшить прочность.



Рисунок 4 – Инфракрасный обогреватель

Использование противоморозных добавок

При строительстве в холодное время года широко применяется технология заливки бетона со специальными противоморозными добавками (ПМД). Принцип их действия заключается в том, что они предотвращают замерзание воды в растворе и ускоряют процесс твердения материала при низких температурах.

Важное преимущество такого бетона — его экономичность в расходе воды и более высокие показатели прочности и устойчивости к морозу по сравнению с обычным бетоном.

Выбор конкретной добавки и её концентрация определяются множеством факторов: климатом, характеристиками поверхности, назначением конструкции и её особенностями. Добавки можно вводить как на этапе приготовления смеси, так и непосредственно на стройплощадке, соблюдая необходимые правила.

Особое внимание уделяется правильному расчету количества добавки: её недостаток грозит ранним замерзанием бетона, а избыток — замедлением процесса твердения. Для достижения оптимальных результатов часто применяют комплексный подход, сочетая использование ПМД с методом термоса и электропрогревом.

При этом критически важно учитывать температуру, при которой бетон должен набрать необходимую прочность до момента замерзания.

При выборе метода ухода за бетоном до его возможного замерзания необходимо учитывать множество факторов, таких как климатические условия, наличие специальных добавок в смеси, тип цемента, размеры и назначение конструкции. Также важны экономическая эффективность, простота технологии и скорость выполнения работ.

Для наглядного сравнения различных методов зимнего бетонирования была составлена (таблица 1), где основными критериями оценки являются трудозатраты (в человеко-часах) и потребление электроэнергии (в киловатт-часах). Последний показатель особенно важен, так как он определяет энергетическую эффективность метода и влияет на скорость выполнения работ.

Таблица 1 – Технико-экономические показатели

Название метода	Единица измерения	
	чел. час	кВт * ч
Метод «термоса»	0,9	54 (50-80)
Использование противомо-розных добавок	0,13	-
Электродный прогрев	3,03	76,5 (80-120)
Электрообогрев нагрева-тельными проводами	4,07	76 (80-110)
Индукционный прогрев	22,5	263 (120-180)
Инфракрасный обогрев	5,25	228,2 (120-200)

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колоколов, В. В. Особенности зимнего бетонирования с применением противоморозных добавок / В. В. Колоколов, О. Е. Сысоев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 339-342. – EDN TQCEKP.

2. Арсентьева, К. А. Эффективность использования противоморозных добавок при зимнем бетонировании / К. А. Арсентьева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 146-149. – EDN KXMMVY.

3. Арсентьева, К. А. Бетонирование строительных конструкций в зимний период с использованием термопроводов / К. А. Арсентьева, О. Е. Сысоев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 6-8. – EDN GKNZNN.

4. Поляков, И. А. Учет особенностей бетонирования строительных конструкций в условиях Крайнего Севера при проектировании зданий и сооружений / И. А. Поляков, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 декабря 2021 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 211-213. – EDN DAUHPN.

УДК 624.04
Дорошенко Эльвира Николаевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Doroshenko Elvira Nikolaevna, student, Komsomolsk- na-Amure State University
Катунцева Наталья Леонидовна, старший преподаватель, кафедра «Прикладная математика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Katuntseva Natalia Leonidovna, Senior Lecturer, Head of the Department, Department of Applied Mathematics, Komsomolsk-na-Amure State University

РАСЧЕТ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИИ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ

CALCULATION OF LOADS ON STRUCTURES AND THEIR STABILITY

Аннотация. В данной статье анализируется методика определения действующих на строительные элементы нагрузок и изучается их стабильность, что является основополагающим фактором при проектировании сооружений. Рассматриваются разнообразные типы воздействий на конструкции. Описываются способы их вычисления, включая статический и динамический расчет, а также использование вычислительных технологий для решения комплексных задач. Особое внимание уделяется соотношению между характеристиками материалов и их реакцией на внешние воздействия. Приведены наглядные примеры, демонстрирующие теоретические принципы, что делает эту работу полезной для обучающихся и профессионалов в сфере строительства. Статья выделяет значимость применения передовых технологий для увеличения прочности и безопасности сооружений, что крайне важно в современном строительном деле.
Abstract. This article analyzes the methodology for determining the loads acting on structural elements and examines their stability, which is a fundamental factor in the design of buildings and structures. Various types of loads on constructions are considered. The methods for their calculation are described, including static and dynamic analysis, as well as the use of computational technologies to solve complex problems. Special attention is paid to the relationship between material properties and their response to external loads.
Illustrative examples demonstrating the theoretical principles are provided, making this work useful for both students and professionals in the field of construction. The article emphasizes the importance of applying advanced technologies to enhance the strength and safety of structures, which is crucial in modern construction practices.
Ключевые слова: исследование, методы расчета, эффективность, конструкции, строительство
Keywords: research, calculation methods, efficiency, constructions, construction

Современное строительство предполагает глубокое понимание принципов проектирования и анализа воздействующих на здания сил. Для обеспечения прочности и долговечности сооружений необходимо грамотно учитывать статические и динамические нагрузки, включая собственный вес конструкций, а также ветровые и снеговые воздействия.

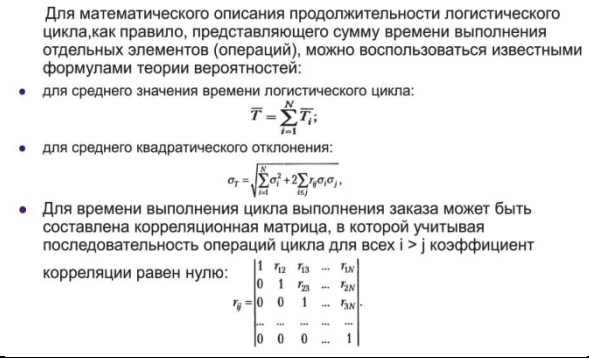
Применение передовых технологий, таких как компьютерное моделирование, существенно повышает устойчивость и безопасность зданий. Актуальность данной темы важна не только для строительной отрасли, но и для создания надежной городской среды. Цель данного исследования заключается в изучении современных направлений и перспектив развития ука-

занных технологий, а также в поиске оптимальных решений для повышения эффективности и устойчивости зданий 1-3]. Статические нагрузки. К данной категории относятся нагрузки, остающиеся неизменными во времени, например, масса основных строительных материалов, таких как сталь, бетон и другие компоненты.

Точная оценка этих нагрузок крайне необходима, поскольку они формируют основу для определения прочностных характеристик конструкции. Динамические нагрузки. Эти нагрузки подвержены изменениям в зависимости от внешних условий. К ним относятся ветровые и снеговые нагрузки, а также нагрузки, создаваемые людьми и предметами интерьера внутри зданий. Учет максимальных значений подобных нагрузок на этапе проектирования помогает избежать возможности деформаций и обрушений.

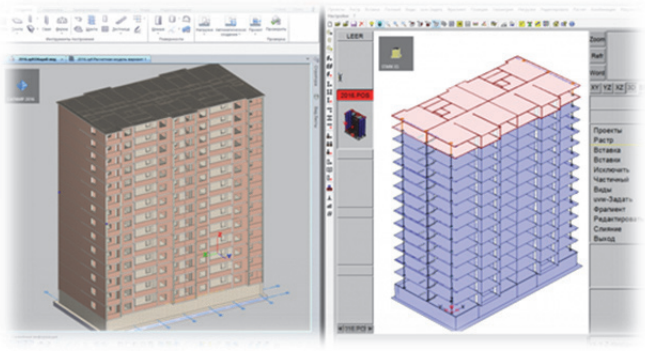
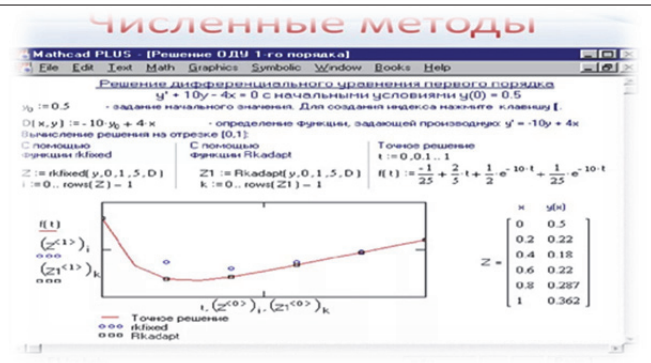
Сейсмические нагрузки. В регионах с высокой сейсмической активностью необходимо учитывать влияние землетрясений на сооружения. Специализированные методы оценки позволяют учесть эти воздействия. Методы анализа нагрузок представлены в таблице 1.

Таблица 1

Временные нагрузки. Эти нагрузки могут колебаться в зависимости от внешних факторов. В нее входят снеговые и ветровые нагрузки, а также нагрузки от людей и мебели внутри помещений. Учёт предельных значений таких нагрузок на этапе проектирования поможет избежать риска деформаций и разрушений.	
Сейсмические нагрузки. В районах, подверженных землетрясениям, также следует учесть влияние сейсмической активности на конструкции. Специальные методы оценки помогут учесть это воздействие.	
Статическое моделирование. Этот подход позволяет анализировать конструкции под действием постоянных и временных нагрузок, используя простые математические модели и уравнения.	

№ п/п	Наименование нагрузок	Подсчет	Нормативная нагрузка	γ_f	Расчетная нагрузка
	I. Постоянные нагрузки				
1	Бетонные плитки	0,035 · 24	0,84	1,2	1,01
2	Цементно-песчаный раствор	0,03 · 18	0,54	1,3	0,7
3	Пустотная плита ПК	–	3,2	1,1	3,52
	Итого		g_n = 4,58 кПа		g = 5,23 кПа
	II. Временные нагрузки				
1	Нагрузка на перекрытие (см. СНиП 2.01.07-85*, табл. 3)	–	p_n = 4,0 кПа	1,2	p = 4,8 кПа
2	Нагрузка от перегородок (см. п. 3.6 СНиП 2.01.07-85*)	–	0,5	1,1	0,55
	Всего		$q^n_{\text{перекрытия}}$ = 9,08 кПа		$q_{\text{перекрытия}}$ = 10,58 кПа

Продолжение таблицы 1

Динамическое моделирование. Применяется в случае, когда конструкции подвергаются значительным влияниям, таким как землетрясения или сильные ветры, и учитывает динамические колебания, что позволяет более точно предсказать поведение объектов.	
Численные методы. С помощью современного программного обеспечения проектировщики могут создавать сложные модели и анализировать их поведение под воздействием различных нагрузок, что способствует улучшению проектных решений и выявлению потенциальных проблем.	

При изучении воздействий, испытываемых строительными конструкциями, выяснилось, что точный учет всевозможных видов нагрузок является критически важным этапом проектирования. Неизменные нагрузки формируют базу для определения устойчивости постройки, в то время как переменные и сейсмические воздействия требуют повышенного внимания для снижения вероятности повреждений и обрушений. Использование передовых методов моделирования и анализа дает возможность архитекторам и инженерам создавать более прочные и безопасные конструкции, гарантируя тем самым безопасность и удобство их использования. Следовательно, детальное рассмотрение и практическое применение знаний о нагрузках приводят к созданию долговечных и безопасных строительных объектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции

2. Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатьева В.С. [и др.]. Металлические конструкции: Учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. – 13-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2011 – 688 с.

3. Дзюба В.А., Стасевич Т.А. Учебное издание: РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Учебное пособие. Редакционно-издательский отдел Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», 2015 – 92с

УДК 692.415

Ельчеков Ярослав Вячеславович, студент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет», email:
Yelchakov Yaroslav Vyacheslavovich, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Oleg E. Sysoev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

КРОВЛИ: ЗАЩИТА ОТ НЕПОГОДЫ И ЭЛЕМЕНТ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА

ROOFS: WEATHER PROTECTION AND AN ELEMENT OF ARCHITECTURAL APPEARANCE

Аннотация. Крыша и кровля – важнейшие элементы любого здания, выполняющие двойную функцию: защиту внутреннего пространства от атмосферных воздействий и формирование архитектурного облика сооружения. В данной статье рассматриваются различные типы крыш, применяемые кровельные материалы и их влияние на эстетическое восприятие здания. Анализируются преимущества и недостатки различных конструкций и материалов с точки зрения функциональности, долговечности и соответствия архитектурному стилю.
Ключевые слова: крыша, кровля, архитектура, кровельные материалы, конструкция
Annotation. The roof and roofing are the most important elements of any building, performing a double function: protecting the interior from atmospheric influences and shaping the architectural appearance of the structure. This article discusses the different types of roofs, the roofing materials used and their impact on the aesthetic perception of the building. The advantages and disadvantages of various structures and materials are analyzed in terms of functionality, durability and compliance with the architectural style.
Keywords: roof, roofing, architecture, roofing materials, construction

Кровля является одной из наиболее важных конструктивных частей здания, обеспечивающей защиту от дождя, снега, ветра, солнца и других неблагоприятных факторов окружающей среды. Кровля, как верхний слой крыши, непосредственно контактирует с атмосферой и выполняет роль барьера, предотвращающего проникновение влаги внутрь здания. Однако крыша – это не только функциональный элемент, но и значимый компонент архитектурного облика, способный подчеркнуть индивидуальность здания и органично вписаться в окружающий ландшафт. Разнообразие типов крыш и кровельных материалов позволяет архитекторам создавать уникальные и эстетически привлекательные сооружения, сочетающие в себе практичность и красоту[1-3].

В современной архитектуре существует множество типов крыш, отличающихся по форме, конструкции и уклону. Наиболее распространенные типы включают:

- скатные крыши: характеризуются наличием одного или нескольких скатов, обеспечивающих естественный отвод воды. Наиболее распространенными вариантами скатных крыш являются односкатные, двускатные, вальмовые и мансардные крыши.



Рисунок 1 – Скатные крыши

- односкатные крыши: простейшая конструкция с одним наклонным скатом, часто используемая в хозяйственных постройках и небольших зданиях.

- двускатные крыши: состоят из двух скатов, образующих треугольный фронтон, и являются наиболее распространенным типом крыш для жилых домов.

- вальмовые крыши: имеют четыре ската, два трапециевидных и два треугольных (вальмы), что обеспечивает более эффективную защиту от ветра и осадков.

- мансардные крыши: характеризуются ломаной формой скатов, что позволяет увеличить полезную площадь чердачного пространства, превратив его в мансардный этаж.

- плоские крыши: имеют уклон менее 5%, что требует применения специальных гидроизоляционных материалов. Плоские крыши могут использоваться как эксплуатируемые пространства, например, для создания террас или садов.

- купольные крыши: представляют собой полусферическую конструкцию, обеспечивающую большую площадь покрытия при минимальном использовании строительных материалов. Часто используются в общественных зданиях и религиозных сооружениях.

Также немало важным пунктом является выбор кровельного материала именно этот этап, определяет ее долговечность, эстетические характеристики и стоимость. Различные кровельные материалы обладают разными свойствами и подходят для разных типов крыш и архитектурных стилей. Основные типы кровельных материалов включают:

- черепица: традиционный кровельный материал, изготавливаемый из глины (керамическая черепица) или бетона (цементно-песчаная черепица). Обладает высокой прочностью, долговечностью и эстетичным внешним видом. Черепица хорошо подходит для скатных крыш с уклоном не менее 22 градусов.

- металлочерепица: листовой кровельный материал, имитирующий внешний вид керамической черепицы. Отличается легкостью, простотой монтажа и доступной ценой. Металлочерепица может использоваться на скатных крышах с уклоном от 14 градусов.

- профнастил: листовой кровельный материал из оцинкованной стали или алюминия, имеющий профилированную поверхность. Профнастил обладает высокой прочностью, долговечностью и устойчивостью к коррозии. Часто используется в промышленных зданиях и хозяйственных постройках.

- мягкая кровля (битумная черепица): гибкий кровельный материал на основе битума, армированного стекловолокном. Мягкая кровля обладает хорошими гидроизоляционными свойствами, устойчивостью к ультрафиолетовому излучению и широким выбором цветов и форм. Подходит для скатных крыш сложной формы.

- рулонные материалы (например, рубероид, гидроизол): используются для гидроизоляции плоских крыш. Требуют тщательной подготовки основания и нанесения в несколько слоев.

Крыша и кровля оказывают значительное влияние на внешний вид здания, определяя его стиль и характер. Выбор типа крыши и кровельного материала должен гармонировать с общей архитектурной концепцией и учитывать особенности окружающего ландшафта.

Крыша и кровля – это не только важные функциональные элементы здания, обеспечивающие защиту от непогоды, но и значимые компоненты архитектурного облика. Правильный выбор типа крыши, кровельного материала и их цветовой гаммы позволяет создать гармоничный и эстетически привлекательный облик здания, соответствующий его функциональному назначению и окружающему ландшафту. Современные технологии и материалы позволяют архитекторам воплощать в жизнь самые смелые и оригинальные проекты, сочетая в себе практичность, долговечность и красоту. Дальнейшие исследования в области кровельных материалов и конструкций будут способствовать созданию еще более эффективных и экологичных решений для защиты зданий от атмосферных воздействий и формирования их уникального архитектурного облика.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

1. СП 17.13330.2017. Свод правил. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76. – Введ. 19.06.2017. – Москва : Минстрой России, 2017. – 95 с.

2. О эффективных конструкциях кровельных систем / А. Ю. Добрышкин, С. Ли // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 181-183. – EDN RUAUKC.

3. Кузнецов В.В. Кровли: конструкции, материалы, технологии: учебное пособие / В.В. Кузнецов. – Москва: Издательство АСВ, 2015. – 240 с.

УДК 621.791.052
Журавлев Юрий Владимирович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Yuri Vladimirovich Zhuravlev, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sysoev Oleg Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ: РОЛЬ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

ENSURING THE RELIABILITY OF WELDED STRUCTURES: THE ROLE OF QUALITY CONTROL

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы контроля качества сварных соединений как критически важного этапа обеспечения надежности и безопасности современных инженерных конструкций. Проанализированы цели и задачи контроля, представлена классификация методов контроля сварных соединений, включая разрушающие и неразрушающие методы. Рассмотрены типовые схемы контроля и приведены примеры основных видов дефектов, выявляемых в процессе контроля.
Abstract: The article discusses the issues of quality control of welded joints as a critical stage in ensuring the reliability and safety of modern engineering structures. The objectives and objectives of the control are analyzed, and the classification of methods for controlling welded joints, including destructive and non-destructive methods, is presented. Typical control schemes are considered and examples of the main types of defects detected during the control process are given.
Ключевые слова: сварка, контроль качества, неразрушающий контроль, разрушающий контроль, дефектоскопия, ультразвуковой контроль, рентгенография, капиллярный контроль, магнитопорошковый контроль, надежность сварных соединений.
Keywords: welding, quality control, non-destructive testing, destructive testing, flaw detection, ultrasonic testing, radiography, capillary control, magnetic powder control, reliability of welded joints.

В современном машиностроении и строительстве сварка является одним из основных. Целью контроля сварных соединений является предотвращение разрушения конструкций и обеспечение их безопасной эксплуатации [1-4].

Контроль позволяет:

- выявить дефекты: обнаружить трещины, поры, непровары, включения и другие дефекты, снижающие прочность сварного соединения;
- оценить качество сварки: определить соответствие геометрических размеров и структуры сварного соединения требованиям нормативной документации;
- предотвратить аварии: исключить возможность разрушения конструкции в процессе эксплуатации из-за некачественной сварки;
- повысить надежность конструкций: обеспечить долговременную и безопасную эксплуатацию сварных конструкций;
- снизить затраты: минимизировать затраты на ремонт и замену конструкций, вышедших из строя из-за дефектов сварки.

Методы контроля сварных соединений подразделяются на две основные группы: разрушающие и неразрушающие.

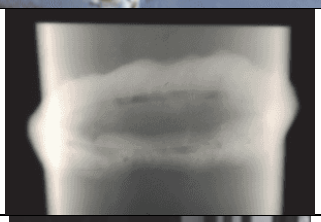
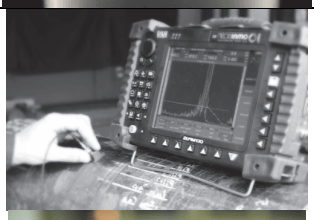
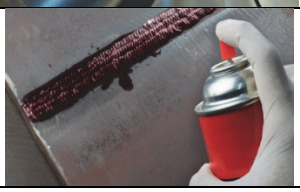
1 Разрушающие методы контроля (РК) предполагают разрушение сварного соединения для оценки его свойств. К основным разрушающим методам относятся (таблица 1):

Таблица 1 - Разрушающие методы контроля (РК)

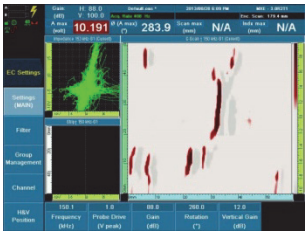
Методы контроля	Пример
Механические испытания	испытания на растяжение, изгиб, ударную вязкость, твердость и другие механические характеристики
Металлографические исследования	анализ микроструктуры металла сварного соединения для выявления дефектов и оценки качества сварки
Химический анализ	определение химического состава металла сварного соединения

2 Неразрушающие методы контроля (НК) позволяют выявлять дефекты без разрушения сварного соединения. К основным неразрушающим методам относятся (таблица 2):

Таблица 2 - Неразрушающие методы контроля (НК)

Методы контроля	Пример
Визуальный и измерительный контроль (ВИК): осмотр сварного соединения невооруженным глазом или с использованием увеличительных приборов для выявления поверхностных дефектов.	
Радиографический контроль (РГК): просвечивание сварного соединения рентгеновскими или гамма-лучами для выявления внутренних дефектов.	
Ультразвуковой контроль (УЗК): использование ультразвуковых волн для выявления внутренних дефектов.	 
Магнитно-порошковая дефектоскопия (МПД): нанесение на поверхность сварного соединения магнитной суспензии для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов.	
Капиллярный контроль (КК): нанесение на поверхность сварного соединения проникающей жидкости (пенетранта) для выявления поверхностных дефектов.	

Продолжение таблицы 2

Методы контроля	Пример
Вихретоковый контроль (ВТК): использование вихревых токов для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов. Сущность метода Вихретоковый метод основан на анализе электромагнитного поля вихревых токов, так же называемых токами Фуко, наведенных в объекте контроля при помощи преобразователя.	
Акустико-эмиссионный контроль (АЭК): регистрация акустических волн, возникающих при образовании и развитии дефектов.	
Гидравлический способ. Особенности гидравлического метода основаны на способности жидкой среды создавать давление. Сварной элемент погружают в масло или воду, выдерживая определенный промежуток времени. В процессе погружения, жидкость впитывается через поры внутрь вещества.	

Выбор методов и объема контроля сварных соединений зависит от типа конструкции, условий эксплуатации и требований нормативной документации. Типовая схема контроля включает следующие этапы:



В процессе контроля сварных соединений могут быть выявлены следующие виды дефектов. Примеры дефектов, выявляемых при контроле на рисунке 1).

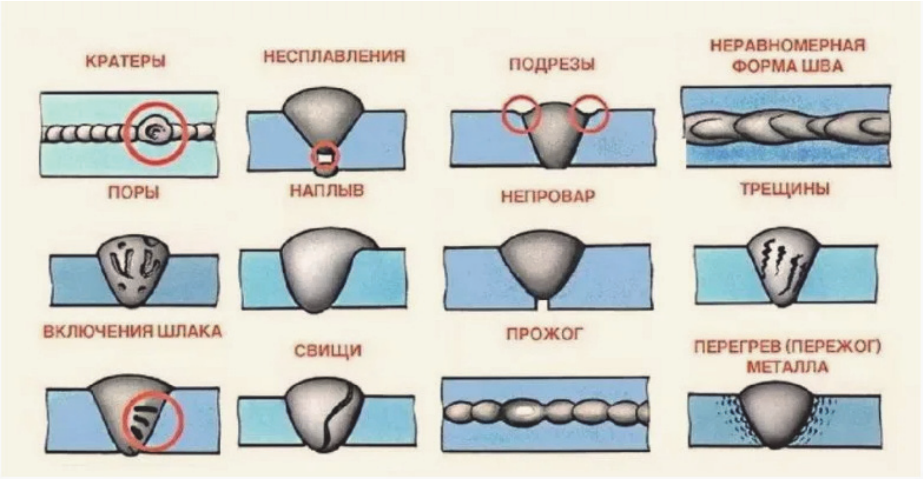


Рисунок 1 – Примеры дефектов

Дефекты:

- трещины: продольные, поперечные, корневые, горячие, холодные;
- поры и пористость: единичные поры, цепочки пор, объемная пористость;
- непровары и несплавления: между свариваемыми кромками, между слоями металла шва;
- включения: шлаковые включения, окислы, металлические включения;
- подрезы: у кромок шва, снижающие эффективную толщину металла;
- наплывы: избыток металла, выступающий за пределы шва;
- дефекты формы шва: неравномерность, выпуклость или вогнутость шва.

Контроль сварных соединений является неотъемлемой частью обеспечения надежности и безопасности сварных конструкций. Комплексное применение разрушающих и неразрушающих методов контроля позволяет выявлять дефекты на различных этапах производства и эксплуатации, предотвращать аварии и обеспечивать долговременную и безопасную работу сварных конструкций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ху, Я. возможностях пустотных монолитных перекрытий/ Я. Ху, О.Е. Сысоев, И.В. Погорельских // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024.- С. 176-179.

2. Добрышкин, А.Ю. Железобетонные конструкции с армированием углеволокном / А.Ю. Добрышкин, О.Е. Сысоев, Е.О. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. - Комсомольск-наАмуре, 2022. - С. 130-132.

3. Журавлева, Е. В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е. В. Журавлева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 203-206. – EDN TLFGIH.

4. Журавлева, Е.В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е.В. Журавлева, О.Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы X Международной научно-практической конференции. - Комсомольск-на-Амуре, 2023. - С. 203-206.

УДК 621.791.052
Журавлев Юрий Владимирович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Yuri Vladimirovich Zhuravlev, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Oleg E. Sysoev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ: АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ

EXISTING DEFECTS IN WELDED JOINTS: ANALYSIS OF THE CAUSES OF OCCURRENCE

Аннотация: Данная статья посвящена детальному рассмотрению дефектов, возникающих в сварных соединениях, и анализу факторов, способствующих их появлению. Особое внимание уделено влиянию технологических режимов, свойств материалов и человеческого фактора на формирование дефектов. Представлены способы минимизации риска образования дефектов и повышения качества сварных соединений.
Abstract: This article is devoted to a detailed examination of defects occurring in welded joints and an analysis of the factors contributing to their occurrence. Special attention is paid to the influence of technological modes, material properties and the human factor on the formation of defects. The methods of minimizing the risk of defects and improving the quality of welded joints are presented.
Ключевые слова: сварка, дефектоскопия, качество сварки, непровары, пористость, термические напряжения, сварочный процесс, технологические параметры.
Keywords: welding, flaw detection, welding quality, non-welding, porosity, thermal stresses, welding process, technological parameters.

Соединение металлов методом сварки является неотъемлемой частью многих производственных процессов. Однако в процессе сварки могут возникать несовершенства, известные как дефекты, которые негативно влияют на прочность, надёжность и долговечность создаваемых конструкций. Понимание механизмов образования этих дефектов критически важно для разработки эффективных стратегий их предотвращения и обеспечения высокого качества сварных соединений [1, 2].

Сварные дефекты проявляются в различных формах, каждая из которых имеет свои особенности и причины возникновения. Условно их можно разделить на следующие основные категории:

1) Дефекты, связанные с нарушением сплошности металла: к ним относятся поры, пористость, трещины (горячие и холодные), непровары и несплавления. Поры и пористость представляют собой газовые включения, образующиеся из-за растворенных газов в расплавленном металле. Трещины, напротив, являются следствием высоких термических напряжений и структурных изменений в материале. Непровары возникают при недостаточном сплавлении кромок, что снижает несущую способность соединения.

2) Дефекты формы и размеров шва: к этой категории относятся подрезы, наплывы, неравномерность шва, а также отклонения от заданных размеров и геометрии соединения. Подрезы — это углубления в основном металле у кромок шва, возникающие из-за перегрева или неправильного выбора режима сварки. Наплывы — это избыток металла, выступающий за пределы шва.

3) Дефекты, обусловленные включениями: к ним относятся шлаковые включения, окислы и другие неметаллические частицы, попадающие в металл шва в процессе сварки. Источником включений могут быть некачественные сварочные материалы, недостаточная очистка кромок или неправильная техника сварки.

4) Дефекты, связанные с неоднородностью структуры: к ним относятся зоны термического влияния (ЗТВ) с измененной структурой, а также участки с повышенной твердостью или хрупкостью.

Образование дефектов сварных соединений обусловлено комплексом взаимосвязанных факторов, которые можно сгруппировать следующим образом:

- технологические параметры сварочного процесса: ключевое значение имеют сила тока, напряжение, скорость сварки, тип сварочного оборудования и защитного газа. Неправильный выбор этих параметров может привести к перегреву, недостаточному проплавлению, образованию пор и трещин. Например, слишком высокая скорость сварки может привести к непроварам, а недостаточная защита от атмосферного воздуха — к образованию пор.

- свойства свариваемых материалов: химический состав, структура, теплофизические свойства и свариваемость металла оказывают существенное влияние на процесс формирования шва. Некоторые сплавы более склонны к образованию трещин или пор, чем другие. Предварительный подогрев может быть необходим для снижения термических напряжений и предотвращения образования трещин в высокоуглеродистых сталях.

- качество сварочных материалов: использование некачественных электродов, сварочной проволоки или флюса с повышенным содержанием примесей, влаги или дефектов может привести к загрязнению металла шва и образованию включений.

- человеческий фактор: квалификация сварщика, его опыт, внимательность и соблюдение технологической дисциплины играют важную роль в обеспечении качества сварки. Недостаточный опыт может привести к неправильному выбору режима сварки, нарушению техники сварки и, как следствие, к образованию дефектов.

- подготовка кромок и очистка поверхности: наличие загрязнений, окислов, ржавчины или масла на поверхности свариваемых кромок препятствует нормальному сплавлению металла и может привести к образованию пор, включений и непроваров [3, 4].

Предотвращение дефектов сварных соединений требует комплексного подхода, включающего:

1) тщательный выбор технологических параметров сварки: оптимизация режимов сварки с учетом свойств материалов и требований к соединению.

Использование качественных сварочных материалов: контроль качества электродов, сварочной проволоки и флюсов.

2) подготовка кромок и очистка поверхности: удаление загрязнений, окислов и ржавчины.

3) повышение квалификации сварщиков: Регулярное обучение и аттестация.

4) применение современных методов контроля качества: неразрушающий контроль сварных соединений (рентгенография, ультразвуковой контроль, магнитный контроль).

5) внедрение систем управления качеством: контроль на всех этапах сварочного производства.

Дефекты сварных соединений представляют собой серьёзную проблему, которая может негативно сказаться на надёжности и безопасности конструкций. Снижение вероятности возникновения дефектов при сварке требует повышенного внимания к этапам подготовки и параметрам режима сварки. Систематическое повышение квалификации персонала и внедрение новейших технологий позволяют улучшить качество сварных соединений и повысить безопасность конструкций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ху, Я. возможностях пустотных монолитных перекрытий/ Я. Ху, О.Е. Сысоев, И.В. Погорельских // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024.- С. 176-179.

2. Добрышкин, А.Ю. Железобетонные конструкции с армированием углеволокном / А.Ю. Добрышкин, О.Е. Сысоев, Е.О. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III

тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. - Комсомольск-наАмуре, 2022. - С. 130-132.

3. Журавлева, Е. В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е. В. Журавлева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 203-206. – EDN TLFGIH.

4. Журавлева, Е.В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е.В. Журавлева, О.Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы X Международной научно-практической конференции. - Комсомольск-на-Амуре, 2023. - С. 203-206.

УДК 624.15
Зорин Иван Александрович, студент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет
Zorin Ivan Alexandrovich student, Komsomolsk-na-Amure State University
Журавлева Екатерина Викторовна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Zhuravleva Ekaterina Viktorovna, senior lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

ФУНДАМЕНТ - ОСНОВА ЗДАНИЯ: ТИПЫ, УСТРОЙСТВО И НАЗНАЧЕНИЕ

THE FOUNDATION IS THE FOUNDATION OF THE BUILDING: TYPES, STRUCTURE AND PURPOSE.

Аннотация. В данной статье рассматриваются различные типы фундаментов, их конструктивные особенности, принципы устройства и назначение. Особое внимание уделяется факторам, влияющим на выбор типа фундамента, включая характеристики грунта, величину нагрузки от здания и гидрогеологические условия. Анализируются преимущества и недостатки каждого типа фундамента с точки зрения стоимости, трудоемкости и применимости в различных условиях.
Ключевые слова: фундамент, основание, грунт, нагрузка, тип фундамента, ленточный фундамент, столбчатый фундамент, плитный фундамент, свайный фундамент
Annotation. This article discusses various types of foundations, their design features, principles of construction and purpose. Special attention is paid to the factors influencing the choice of foundation type, including the characteristics of the soil, the amount of load from the building and the hydro-geological conditions. The advantages and disadvantages of each type of foundation are analyzed in terms of cost, labor intensity and applicability in various conditions.
Keywords: foundation, foundation, soil, load, type of foundation, ribbon foundation, columnar foundation, slab foundation, pile foundation

Фундамент – это главная подземная несущая конструкция здания, предназначенная для передачи нагрузки от сооружения на грунт основания. Надежность и долговечность здания напрямую зависят от правильного выбора типа фундамента и его качественного устройства. Неправильно спроектированный или выполненный фундамент может привести к деформациям, трещинам и даже разрушению здания. Выбор типа фундамента является одним из главных этапов проектирования, он требует учёта множества факторов, включая характеристики грунта, величину нагрузки от здания, гидрогеологические условия и климатические особенности [1-3].

Первое, что стоит рассмотреть это то, что в строительной практике применяются различные типы фундаментов, отличающиеся по конструкции, способу передачи нагрузки на грунт и области применения. Наиболее распространенные типы включают:

- Ленточный фундамент: это буквально непрерывная железобетонная лента, проходящая под всеми несущими стенами здания. Ленточный фундамент является хорошим вариантом для зданий с тяжелыми стенами (кирпичными, бетонными или каменными) и обеспечивает равномерное распределение нагрузки на грунт. Он может быть мелкозаглубленным (для легких зданий на устойчивых грунтах) или сильно заглубленным (для тяжелых зданий или на пучинистых грунтах).

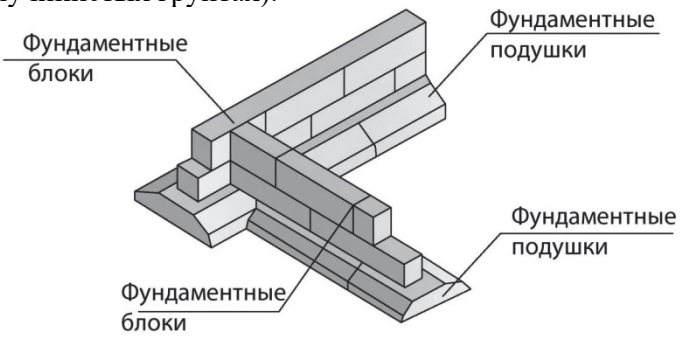


Рисунок 1 – Ленточный фундамент

- Столбчатый фундамент: фундамент, состоящий из из отдельных столбов (опор), расположенных под несущими углами и пересечениями стен, а также в местах сосредоточенных нагрузок. Столбчатый фундамент экономичен в использовании материалов, но требует устройства ростверка (железобетонной балки), соединяющего столбы и обеспечивающего равномерное распределение нагрузки. Подходит для легких зданий (каркасных, деревянных) на устойчивых грунтах.



Рисунок 2 – Столбчатый фундамент

- Плитный фундамент: похож на ленточный и представляет собой сплошную железобетонную плиту, расположенную под всей площадью здания. Плитный фундамент обеспечивает равномерное распределение нагрузки на грунт и устойчивость к деформациям. Его главное отличие, он применяется на слабых, просадочных или пучинистых грунтах, а также при высоком уровне грунтовых вод.

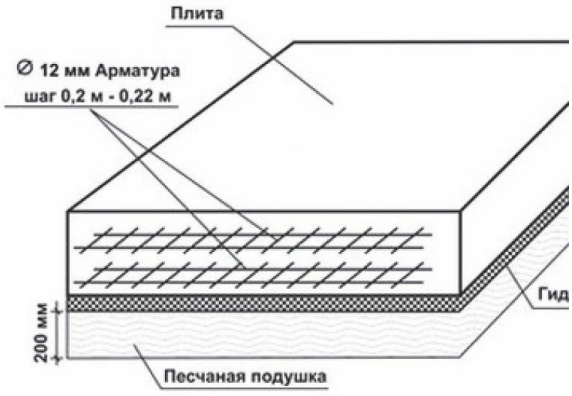


Рисунок 3 - Плитный фундамент

- Свайный фундамент: состоит из свай, забитых или вдавленных в грунт на определенную глубину. Сваи передают нагрузку от здания на более плотные слои грунта, расположенные ниже. Свайный фундамент используется на слабых, насыпных или торфяных

грунтах, а также при строительстве на склонах или в условиях вечной мерзлоты. Сваи могут быть различного типа: забивные, буронабивные, винтовые.

- Свайно-ростверковый фундамент: сочетает в себе сваи и ростверк, что позволяет повысить несущую способность фундамента и обеспечить равномерное распределение нагрузки на грунт. Широко применяется в малоэтажном строительстве на сложных грунтах.

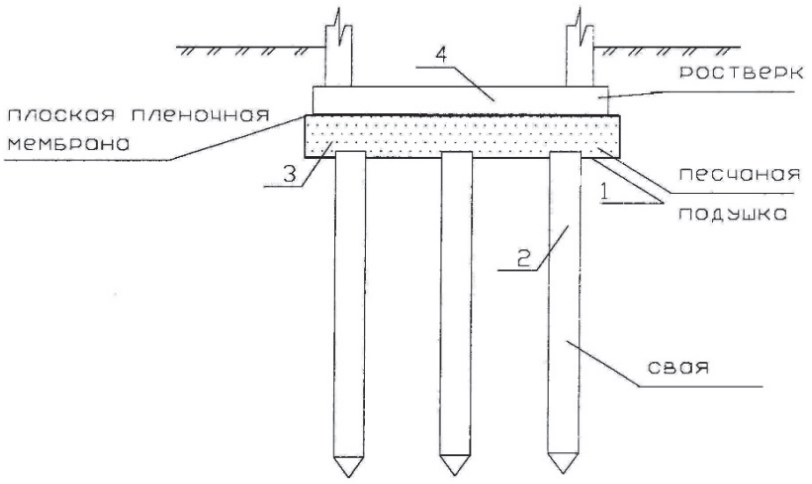


Рисунок 4 – Свайно-ростверковый фундамент

Выбор типа фундамента является сложной задачей, требующей учета множества факторов:

- Характеристики грунта: тип грунта (песок, глина, суглинок, торф), его несущая способность, влажность, глубина промерзания и пучинистость оказывают определяющее влияние на выбор выдерживать фундамент. Чем больше нагрузка, тем более прочным и устойчивым должен быть фундамент.

- Гидрогеологические условия: уровень грунтовых вод, их агрессивность и сезонные колебания оказывают влияние на выбор материалов и конструкцию фундамента. При высоком уровне грунтовых вод необходимо предусматривать гидроизоляцию и дренаж для защиты фундамента от разрушения.

- Климатические условия: глубина промерзания грунта, наличие сезонных перепадов температуры и количество осадков влияют на выбор типа фундамента и глубину его заложения. На пучинистых грунтах необходимо принимать меры для предотвращения деформаций фундамента, связанных с промерзанием и оттаиванием грунта.

- Экономические соображения: стоимость материалов, трудоемкость работ и сроки строительства также являются важными факторами при выборе типа фундамента. Необходимо найти оптимальное соотношение между надежностью, долговечностью и стоимостью фундамента. Фундамент является ключевым элементом любого здания, обеспечивающим его надежность и долговечность. Правильный выбор типа фундамента, качественное устройство и регулярный мониторинг состояния являются необходимыми условиями для безопасной эксплуатации здания. Современные технологии и материалы позволяют строить фундаменты различного типа, отвечающие требованиям надежности, экономичности и экологичности. Дальнейшие исследования в области фундамент-строения будут способствовать созданию более эффективных и долговечных конструкций, обеспечивающих устойчивость зданий и сооружений в любых условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Методы усиления основания под фундаментом / М. В. Юшкина, О. Е. Сысоев, М. В. Юшкина // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсо-

мольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 141-143. – EDN CSWIKY.

2. Гидроизоляция фундаментов при высоких грунтовых водах / Ш. С. Азимзода, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 декабря 2021 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 113-114. – EDN WVTBLJ.

3. Перспективы использования пластиковой арматуры при устройстве столбчатых фундаментов / И. А. Павленко, О. Е. Сысоев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года. Том Часть 3. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 86-88. – EDN QITVCV.

УДК 691.328
Колчев Никита Михайлович, студент, Российский университет транспорта (МИИТ)
Nikita Mikhailovich Kolchev, student, Russian University of Transport (MIIT)
Дементьев Даниил Игоревич, студент, Российский университет транспорта (МИИТ)
Daniil Igorevich Dementjev, student, Russian University of Transport (MIIT)
Божков Николай, студент, Российский университет транспорта (МИИТ)
Nikolai Bozhkov, student, Russian University of Transport (MIIT)
Бандровский Сергей Сергеевич, студент, Российский университет транспорта (МИИТ)
Sergey Sergeevich Bandrovsky, student, Russian University of Transport (MIIT)

ОЦЕНКА УРОВНЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF DAMAGE TO REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Аннотация. В статье рассмотрены различные методы, позволяющие определить степень повреждения, включая визуальные осмотры, ультразвуковой контроль, радиографические методы. Эти методы показали свою эффективность в разных условиях эксплуатации конструкций, что подтверждает их актуальность на практике. Оценка степени повреждения железобетонных конструкций представляет собой важный этап в их эксплуатации и обслуживании. Результаты исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций по улучшению методов диагностики и оценки, что в конечном итоге повысит безопасность существующих и новых объектов строительства.
Abstract. The article discusses various methods for determining the degree of damage, including visual inspections, ultrasonic irradiation, and radiographic methods. These methods have proven their effectiveness in different operating conditions of structures, which confirms their relevance in practice. Assessing the degree of damage to reinforced concrete structures is an important stage in their operation and maintenance. The results of our study can be used to develop recommendations for improving diagnostic and assessment methods, which will ultimately increase the safety of existing and new construction projects.
Ключевые слова: обследование, повреждение, техническое состояние, железобетон, эксплуатация.
Key words: inspection, damage, technical condition, reinforced concrete, operation.

Оценка уровня повреждений железобетонных конструкций играет ключевую роль в обеспечении безопасности и долговечности зданий, благодаря своей прочности, надежности и способности противостоять внешним воздействиям. Однако со временем, под воздействием таких факторов, как коррозия арматуры, механические повреждения и ошибки в проектировании и строительстве, могут возникать дефекты, ухудшающие эксплуатацион-

ные характеристики. В процессе оценки повреждений проводятся следующие мероприятия: визуальный осмотр и документирование дефектов, анализ проектной документации, измерение геометрических параметров конструкций и дефектов, определение прочности бетона и арматуры с помощью неразрушающих методов, расчет остаточной несущей способности. На основе собранных данных делается вывод о степени повреждения и принимается решение о необходимости ремонта, замены элементов или демонтажа здания [1].

Классические технологии проведения обследования

Определение технического состояния конструкций и необходимость их усиления после получения повреждений при эксплуатации, а также в результате ЧС (пожар, землетрясение и другие), требует соблюдения нормативных требований. На основе собранных данных разрабатываются проекты восстановительных работ. Техническое обследование проводится специализированной организацией, и по его результатам утверждаются последующие документы для выполнения работ. Одним из наиболее важных аспектов оценки повреждений является использование современных технологий и методик, позволяющих выполнять неразрушающие испытания. К ним относятся ультразвуковая дефектоскопия, магнитно-порошковая дефектоскопия и радиографические методы. Эти технологии позволяют выявлять внутренние дефекты, такие как трещины, полости, коррозию арматуры, не разрушая при этом саму конструкцию. Эффективность этих методов повышает точность оценки состояния конструкций и помогает в формировании обоснованных рекомендаций по их ремонту. Важным этапом является анализ проектной документации, который позволяет оценить объемно-планировочные и конструктивные решения [2], а также выявить потенциальные ошибки, допущенные в доэксплуатационной стадии. Необходимо учитывать не только проектные исходные данные, но и изменения, которые происходили в процессе эксплуатации, такие как перепланировка, изменение нагрузки и воздействие внешней среды. Такой комплексный подход позволяет получить полное представление о состоянии железобетонной конструкции и выявить скрытые проблемы. После завершения обследования и соответствующего анализа, результаты фиксируются в техническом отчете, что является основой для последующих действий: либо для выполнения ремонтных работ, либо для реконструкции. Профессиональное выполнение всех этапов оценки повреждений обеспечивает не только безопасность эксплуатации, но и способствует увеличению срока службы строительных объектов. Оценка состояния железобетонных конструкций должна также учитывать влияние внешних факторов, таких как температурные колебания, воздействие агрессивной среды, и механические нагрузки, которые могут усугубить существующие повреждения [3,4]. Эффективный мониторинг состояния конструкций позволяет выявлять потенциальные опасности и принимать своевременные меры по ремонту или укреплению конструкций.



Рисунок 1 – Повреждение монолитной балки в результате протечек

Ремонт и восстановление железобетонных конструкций, классифицированных как средне и сильно поврежденные, требуют детальной диагностики, а также анализа причин появления повреждений. Основные методы могут включать инъецирование трещин, укрепление элементов с помощью внешнего армирования, торкретирования, а также усиление опорных частей. Кроме того, важно обеспечить регулярное техническое обслуживание конструкций для предотвращения накопления повреждений. Профилактические мероприятия могут включать мониторинг трещин, проверку состояния арматуры, а также защиту бетонных поверхностей от воздействия влаги и коррозии. Важно также учитывать челове-

ческий фактор: квалификация и опыт специалистов, занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом, напрямую влияют на качество проводимых работ. Постоянное обучение и повышение квалификации работников являются необходимыми условиями для эффективного управления состоянием конструкций и здания в целом. Эффективная оценка состояния и управление повреждениями железобетонных конструкций играют ключевую роль в обеспечении безопасности и долговечности строений, позволяя минимизировать риски и продлить срок их эксплуатации [5].

Современные технологии проведения обследования

Современные технологии также открывают новые горизонты в оценке и восстановлении железобетонных конструкций. Использование неразрушающих методов контроля, таких как ультразвуковая дефектоскопия, радиография и термография, позволяет эффективно выявлять скрытые дефекты и оценивать состояние материалов без их разрушения. Эти методы обеспечивают более точную диагностику и помогают в принятии обоснованных решений относительно необходимости ремонта. Внедрение систем автоматизированного мониторинга, которые способны отслеживать изменения в состоянии конструкций в реальном времени, еще более усиливает возможности диагностики. Такие системы могут включать датчики измерения деформации, устройства для измерения температуры и влажности, что позволяет оперативно реагировать на изменения внешних условий и потенциальные угрозы. В конечном счете, учет всех вышеперечисленных подходов – от диагностики до профилактики – способствует обеспечению безопасности и надежности железобетонных зданий, что имеет критическое значение для защиты жизни людей и обеспечения устойчивости инфраструктуры. Таким образом, в ходе проделанной работы были рассмотрены различные методы, позволяющие определить степень повреждения, включая визуальные осмотры, ультразвуковой контроль и радиографические методы. Эти методы показали свою эффективность в разных условиях эксплуатации конструкций, что подтверждает их актуальность на практике. Особое внимание было уделено факторам, способствующим повреждению железобетона, таким как коррозия арматуры, перегрузка и воздействие химических средств. Все эти аспекты существенно влияют на долговечность и безопасность зданий и сооружений. На основе проведённых исследований мы пришли к выводу о необходимости регулярного мониторинга состояния конструкций, что позволит своевременно выявлять и устранять потенциальные проблемы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нормирование в области демонтажа и утилизации конструкций зданий и сооружений / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов, А. А. Кондратьев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2023. – № 8-2(83). – С. 156-160. – DOI 10.24412/2500-1000-2023-8-2-156-160. – EDN UZUFKY.

2. Совершенствование объёмно-планировочных и конструктивных решений большепролетных многоэтажных зданий на примере гаражей-стоянок со стальным каркасом / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 3. – С. 103-107. – EDN ZIOFDT.

3. Терехов, И. А. Критерии оценки технического состояния железобетонных плит при коррозии арматуры / И. А. Терехов // Строительство и реконструкция. – 2022. – № 6(104). – С. 128-139. – DOI 10.33979/2073-7416-2022-104-6-128-139. – EDN YGOOMW.

4. Критерии для оценки категории технического состояния железобетонных колонн, ригелей, балок и ферм / В. С. Федоров, Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 3(107). – С. 58-69. – DOI 10.33979/2073-7416-2023-107-3-58-69. – EDN ZTABZK.

5. Продолжительность периодов безопасной эксплуатации зданий и сооружений с железобетонными конструкциями / И. А. Терехов, Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, С. Д. Шмаков // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 4. – С. 20-27. – DOI 10.33622/0869-7019.2024.04.20-27. – EDN UCDRWL.

УДК 692.415
Козлович Вячеслав Дмитриевич студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kozlovich Viacheslav Dmitrievich student, Komsomolsk-na-Amure State University
Журавлева Екатерина Викторовна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ekaterina Viktorovna Zhuravleva, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amur State University

ЭФФЕКТИВНЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

EFFICIENT MODERN ROOFING MATERIALS

Аннотация. В статье проведен анализ современных кровельных материалов, их свойств, преимуществ и недостатков. Даны рекомендации по выбору материалов для различных типов зданий и климатических условий.
Annotation. The article analyzes modern roofing materials, their properties, advantages and disadvantages. Recommendations are given on the choice of materials for different types of buildings and climatic conditions.
Ключевые слова: кровля, современные материалы, прочность, экологичность, энергоэффективность.
Keywords: roofing, modern materials, durability, environmental friendliness, energy efficiency.

Кровля – это критически важный элемент здания, обеспечивающий защиту от внешних воздействий и определяющий его энергоэффективность. Современный рынок предлагает широкий спектр кровельных материалов, отличающихся по своим физическим свойствам, долговечности и экологическим параметрам. Оптимальный выбор кровельного решения требует комплексного подхода, учитывающего климатические условия, конструктивные особенности здания и требования к тепло- и звукоизоляции [1-3].

Научное исследование различных материалов, включая металлочерепицу, битумные, керамические и полимерные покрытия, позволяет объективно оценить их эксплуатационные характеристики и прогнозируемый срок службы (рисунок 1).



Рисунок 1 - Современные кровельные материалы

Анализ современных кровельных материалов, их свойств, преимуществ и недостатков (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ материалов

Название	Преимущества	Недостатки
Металлочерепица	Легкая, долговечная, устойчивая к коррозии, широкий выбор цветов, простой монтаж	Шумная, требует утепления, подвержена царапинам, низкая теплоизоляция.

Продолжение таблицы 1

Название	Преимущества	Недостатки
Профлисты (профнастил)	Дешевые, прочные, легкий монтаж, долговечность, устойчивость к нагрузкам.	Шумные, подвержены коррозии, ограниченный дизайн, требует утепления.
Фальцевые кровли	Герметичные, долговечные, подходят для сложных крыш, устойчивы к коррозии.	Дорогие, сложный монтаж, шумные, требуют профессионалов.
Гофрированная черепица	Легкая, дешевая, устойчивая к коррозии, простой монтаж.	Шумная, ограниченный дизайн, подвержена механическим повреждениям.
ПВХ мембраны	Герметичные, долговечные, устойчивы к УФ, легкие, простой монтаж.	Дорогие, уязвимы к повреждениям, требуют профессионалов, ограниченная цветовая гамма.
ТПО мембраны	Экологичные, огнестойкие, устойчивы к УФ, долговечные, герметичные.	Дорогие, требуют профессионалов, ограниченная цветовая гамма.
Керамическая черепица	Эстетичная, долговечная, огнестойкая, хорошая звукоизоляция, экологичная.	Тяжелая, дорогая, хрупкая, сложный монтаж, требует усиления стропил.
Шифер	Дешевый, долговечный, огнестойкий, хорошая звукоизоляция.	Тяжелый, хрупкий, содержит асбест, ограниченный дизайн.
Композитная черепица	Эстетичная, легкая, долговечная, устойчива к коррозии, хорошая теплоизоляция.	Дорогая, требует профессионалов, ограниченная цветовая гамма.
Материалы на основе стекловолокна (битумная черепица)	Легкие, простые в монтаже, устойчивы к влаге, широкий выбор цветов, хорошая звукоизоляция.	Недолговечные, требуют подложки, подвержены механическим повреждениям.

Исходя из всего вышеперечисленного можно дать рекомендации:

1. Советы по выбору кровельных материалов в зависимости от климатических условий

1.1. Для влажных и дождливых регионов

В районах с высокой влажностью и частыми дождями рекомендуется выбирать водонепроницаемые покрытия, такие как мембраны и гибкая черепица. Эти материалы эффективно защищают от влаги и предотвращают образование протечек.

1.2. Для ветреных местностей

В условиях сильного ветра лучше применять легкие и прочные кровельные решения, например, металлочерепицу или гофрированные листы. Они способны выдерживать нагрузки от сильных порывов ветра.

1.3. Для регионов с резкими изменениями температуры

В зонах, где температура часто колеблется, стоит использовать материалы, которые не подвержены деформации, такие как полимерные мембраны и композитные покрытия. Они сохраняют свои свойства даже при значительных температурных изменениях [4, 5].

2. Выбор кровельных материалов в зависимости от типа зданий

2.1. Для жилых домов

Для частных жилых зданий оптимальными являются гибкая черепица, металлочерепица и натуральная черепица. Эти материалы не только эстетически привлекательны, но и обеспечивают надежную защиту и долгий срок службы.

2.2. Для промышленных объектов

В промышленных зданиях рекомендуется использовать гофрированную сталь и мембранные покрытия, которые отличаются высокой прочностью и стойкостью к механическим повреждениям.

2.3. Для коммерческих помещений

В коммерческих зданиях можно использовать композитные материалы и ПВХ мембраны. Они обеспечивают отличную защиту и легко адаптируются к различным дизайнерским концепциям.

3. Кровельные решения для различных климатических условий и типов зданий

3.1. При повышенной влажности

В регионах с высоким уровнем влаги и осадков рекомендуется применять мембранные покрытия и гибкую черепицу для предотвращения протечек.

3.2. При сильном ветре

В местах с сильными порывами ветра лучше выбирать легкие и прочные материалы, такие как металлочерепица и гофрированные листы, которые способны выдерживать значительные ветровые нагрузки.

3.3. При резких температурных колебаниях

В условиях резких температурных изменений целесообразно использовать материалы, которые не подвержены деформации — полимерные мембраны и композитные покрытия.

4. По типу зданий

4.1. Жилые дома: гибкая черепица, металлочерепица, натуральная черепица.

4.2. Промышленные здания: гофрированная сталь, мембранные покрытия.

4.3. Коммерческие здания: композитные материалы, ПВХ мембраны.

На основе проведенного исследования разработаны рекомендации по выбору кровельных материалов для разных типов зданий и климатических условий. Установлено, что современные решения для кровли значительно повышают долговечность, энергоэффективность и эстетику зданий, а также снижают эксплуатационные расходы. Эти выводы будут полезны строителям, архитекторам и проектировщикам для оптимизации выбора кровли и повышения качества проектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сидоров, Д. Л. Металлочерепица и профнастил в современном строительстве / Д. Л. Сидоров. – Екатеринбург: Уралстройпресс, 2021. – 145 с.

2. Кузнецова, Е. М. Полимерные мембраны в кровельных системах / Е. М. Кузнецова. – Новосибирск: Академическое издательство, 2023. – 132 с.

3. Аминов, Р. Э. Влияние влажности утеплителя стеновой конструкции на свойства его теплопроводности / Р. Э. Аминов, О. Е. Сысоев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 4-6. – EDN CCCBDC.

4. Газиева, Э. Д. Проблемы оеспечения строительной площадки бетоном при возведении монолитного здания / Э. Д. Газиева, О. Е. Сысоев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 317-320. – EDN MFYQHV.

5 Аминов, Р. Э. Оптимизация расчетов теплотехнических характеристик стеновых конструкций при проектировании жилых зданий / Р. Э. Аминов, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 143-146. – EDN KUQXGK.

УДК УДК 624.012.45.
Кононов Дмитрий Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kononov Dmitry Aleksandrovich, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Сысоев Евгений Олегович, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sysoev Evgeny Olegovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ELIMINATION OF DEFECTS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Аннотация. Статья посвящена проблеме дефектов железобетонных конструкций, которые могут существенно влиять на их эксплуатационные характеристики и долговечность. В работе рассматриваются основные виды дефектов, такие как трещины, коррозия арматуры, выкрашивание и откалывание бетона, а также причины их возникновения, включая некачественные материалы, температурные колебания, неблагоприятные погодные условия и ошибки в технологии строительства, способы их устранения.
Abstract. The article is devoted to the problem of defects in reinforced concrete structures, which can significantly affect their performance and durability. The paper examines the main types of defects, such as cracks, corrosion of reinforcement, discoloration and chipping of concrete, as well as the causes of their occurrence, including poor-quality materials, temperature fluctuations, adverse weather conditions and errors in construction technology, and ways to eliminate them.
Ключевые слова: дефекты, железобетон, дефекты бетона, коррозия арматуры, усиление конструкций.
Keywords: defects, reinforced concrete, concrete defects, reinforcement corrosion, reinforcement of structures.

В строительстве широко применяются железобетонные конструкции, ценящиеся за прочность, долговечность и универсальность. Однако, как и любые стройматериалы, они подвержены дефектам и повреждениям, влияющим на эксплуатационные качества и безопасность. В данной статье рассматриваются основные дефекты железобетонных конструкций, причины их появления и методы их устранения [1-4].

Ошибки в проектировании и распределении усилий приводят к концентрации напряжений, что провоцирует появление микротрещин. Возникновение перегрузок вероятно при отклонении от запроектированных режимов использования или при смене функционального назначения объекта. Способом устранения такого дефекта будет являться проектирование конструкций с учетом возможных нагрузок и условий эксплуатации, включая разметку стыков и зон контроля. В процессе затвердевания и дальнейшей эксплуатации бетон подвергается температурным воздействиям. Термическое расширение и сжатие материала способствуют образованию трещин, особенно при резких перепадах температуры окружающей среды. Для предотвращения перепадов температуры необходимо прогревать бетон в холодно время, до тех пор, пока он не схватится.

В процессе набора прочности бетон дает усадку, что может стать причиной растрескивания. Данный эффект обусловлен потерей влаги и уменьшением объема материала. Наиболее часто усадочные дефекты проявляются в первые дни после заливки. После укладки бетонной смеси необходимо провести вибрирование для удаления излишков воздуха. Для минимизации усадки следует применять расширяющиеся цементные смеси и специальные добавки-пластификаторы, которые взаимодействуя с водой, увеличиваются в объеме и способствуют равномерному распределению внутренних напряжений в бетоне. Дефекты при устройстве швов между элементами конструкции могут стать дополнительными источниками трещин, так как при неправильной заделке под влиянием возможно накопление лишней влаги, что приводит к повреждению бетона и образования трещин. Со-

единение швов в сборных железобетонных конструкциях включает в себя несколько этапов: сварку арматурных выпусков или металлических элементов, обеспечение защиты от коррозии этих элементов, и заполнение швов бетоном или специальным раствором

Откалывание и выкрашивание бетона

Потеря целостности и ослабление связи между цементным камнем и заполнителем в бетоне, которая вызвана несоблюдением технологических норм при бетонировании. Систематическое воздействие значительных нагрузок в одной и той же области в сочетании с резкими температурными колебаниями на поверхности, особенно при частых циклах замораживания-оттаивания в холодное время года. Для предотвращения данного недуга необходимо правильно составлять порядок строительства, чтобы не допустить излишней загруженности отдельных как элементов конструкции, так части всей конструкции. Избыточное содержание воды в процессе смешивания компонентов, что приводит к снижению прочности бетонной поверхности. Во избежание этого бетон необходимо вибрировать. Недостаточный уход за материалом во время выполнения работ. После заливки бетон необходимо увлажнять в течение первых трех суток. При заливке раствора в форму, важно обеспечить его тщательное уплотнение, чтобы структура стала однородной и уменьшилась пористость бетона.

Коррозия арматуры

Для того чтобы началась коррозия, необходимы два основных условия: доступ влаги и кислорода. Влага в бетоне может появиться как из-за погодных условий, так и из-за проникновения воды через трещины или дефекты в конструкции. Кислород же проникает в бетон через поры и трещины.

Хлориды, которые часто содержатся в морской воде, солях для зимней оттепели или в некоторых видах цемента, могут ускорить коррозию, разрушая защитный слой пассивации на поверхности стали. Если кислотность бетона повышен, то могут образоваться гидроксиды, которые взаимодействуют с арматурой, образуя гидроксиды железа. Это приводит к разрушению защитной плёнки на поверхности арматуры.

Кроме того, на арматуру могут воздействовать кислотные дожди, агрессивные химические вещества и высокие температуры, что также способствует коррозии.

Методы предотвращения коррозии арматуры:

Использование коррозионностойких материалов: применение нержавеющей стали значительно продлевает срок службы конструкции и снижает вероятность возникновения коррозии.

Нанесение защитных покрытий: покрытие арматуры цинком или эпоксидными смолами создаёт защитный барьер, который предотвращает контакт металла с водой и кислородом.

Использование ингибиторов коррозии: добавление в бетон специальных веществ, которые замедляют процесс коррозии.

Улучшение качества бетона: правильный выбор цемента, тщательное смешивание и укладка бетона могут существенно снизить вероятность коррозии арматуры. Контроль влажности: обеспечение хорошего дренажа и вентиляции может минимизировать попадание влаги в бетон.

Устранение дефектов железобетонных конструкций критически важно для продления срока службы и обеспечения безопасной эксплуатации. Комплексный подход к диагностике, ремонту и профилактике позволяет поддерживать конструкции в надлежащем состоянии. Ремонт трещин осуществляется инъекционными методами, шлифованием и заполнением, установкой опорных конструкций; восстановление отколов и выкрашиваний замещение поврежденного бетона, накладывание защитных слоев; защита от коррозии арматуры использованием антикоррозионного покрытия, увеличение слоя бетона, использованием коррозионностойких арматур.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Баженов, Ю. М. Технология бетона : учебник / Баженов Ю. М. - 5-е издание. - Москва : Издательство АСВ, 2015 – 528 с.

2 Журавлева, Е. В. Алгоритм учета физической нелинейности при расчете цилиндрических оболочек / Е. В. Журавлева, В. А. Дзюба // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 59-61. – EDN VHEYOA.

3 Журавлева, Е. В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е. В. Журавлева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 203-206. – EDN TLFGIH.

4 Журавлева, Е. В. Алгоритм учета физической нелинейности при расчете цилиндрических оболочек / Е. В. Журавлева, В. А. Дзюба // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 59-61. – EDN VHEYOA.

УДК 696.9

Крапивный Роман Борисович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Krapivnyj Roman Borisovich, student, Komsomolsk-na-Amur State University

Сысоев Евгений Олегович, кандидат экономических наук, профессор, преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sysoev Evgeny Olegovich, candidate of economic sciences, professor, teacher, Komsomolsk-na-Amur State University

ДОСТОИНСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА

ADVANTAGES OF HIGH-STRENGTH CONCRETE

Аннотация. Высокопрочный бетон — это строительный материал, имеющий высокую прочностью, обычно превышающей 40 МПа, что превращает его в идеальный для использования в строительстве и инженерных потребностях, необходимых особых характеристик. В этой аннотации описаны главные достоинства высокопрочного бетона, продвигающие его к массовой эксплуатации в современной строительной отрасли.

Abstract. High—strength concrete is a building material with a high strength, usually exceeding 40 MPa, which makes it ideal for use in construction and engineering needs requiring special characteristics. This annotation describes the main advantages of high-strength concrete, which promote it to mass use in the modern construction industry.

Ключевые слова: высокопрочный бетон, долговечность конструкций, плотность бетона.

Key words: high-strength concrete, durability of structures, concrete density.

В последние десять тел высокопрочный бетон находят всё более известным в строительстве за счет своих особенных свойств и огромному количеству достоинств. Данный продукт, обладает прочностью, превосходящий 40 МПа, находит массовое потребление в разнообразных направлениях— от жилых и коммерческих сооружений до инфраструктурных объектов. В данной статье мы рассмотрим основные преимущества высокопрочного бетона и его ценность в современном строительстве [1-3].

1. Высокая прочность

Одной из главных преимуществ высокопрочного бетона выступает его способность держать высокие механические воздействия. Применение данного материала дает возмож-

ность изготавливать конструкции, которые могут перенести огромные динамические и статические напряжения. Высокая прочность делает его отличным решением для строительства мостов, зданий и других сооружений.

2. Долговечность

Бетон повышенной прочности характеризуется незначительной водопроницаемостью и сопротивляемостью к внешним воздействиям. Благодаря этому он демонстрирует длительный срок службы и устойчивость к деградации под воздействием разнообразных факторов, включая низкие температуры, агрессивные химические соединения, проникновение влаги и ржавление арматуры. При соблюдении всех правил ухода и условий эксплуатации, высокопрочный бетон способен сохранять свои характеристики на протяжении многих лет, что позволяет существенно сократить расходы на восстановление и поддержание его в рабочем состоянии. Это делает его экономически выгодным решением для строительства.

3. Устойчивость к трещинообразованию

Высокопрочный бетон, отличаясь значительной плотностью и минимальной пористостью, демонстрирует слабую предрасположенность к растрескиванию. Эта характеристика играет ключевую роль в обеспечении надежности конструкций и предотвращении их деградации. Возникновение трещин способно не только ухудшить эстетическое восприятие зданий, но и спровоцировать серьезные дефекты в структуре. Следовательно, сопротивляемость к образованию трещин становится решающим критерием при выборе материалов для строительства.

4. Экономия материалов

Хотя бетон повышенной прочности больше по цене относительно с обычным, его использование обеспечивает позволяет снизить число нужных ресурсов. За счет его износостойких характеристик позволяет снизить толщину структуры, что приводит к понижению веса и, таким образом к понижению всего объема эксплуатируемого бетона.

5. Эстетические возможности

Бетон повышенной прочности позволяет открыть новые решения для дизайнеров и архитекторов. Он предоставляет возможность вводить более тонкие структуры и сложные фигуры, создавая свежий статус архитектурной эстетики. Применение бетон повышенной прочности дает возможность создать масштабные проекты, которые были бы невыполнимы с применением привычных строительных ресурсов.

Высокопрочный бетон является материал, который собственной прочностью и долговечностью способен значительно увеличить безопасность и устойчивость строительных зданий. Его использование обеспечивает не только изготавливать нынешние и эстетически красивые здания, но и сбалансировать траты на строительство и использование. За счет своих преимуществ, высокопрочный бетон имеет ключевое значение в формировании строительной области и соблюдается требованиям во времени. Это вариант, который оправдывается как в короткий, так и в долгосрочном плане.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баженов Ю.М. Технология бетона [Текст]: учеб. пособие / Ю.М. Баженов. – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 1987. – 415 с.

2. Мирсаяпов И.Т. Технико-экономическая оценка влияния повышения прочности и выносливости бетона за счет применения высокопрочного бетона на расход материалов в железобетонных каркасах по серии 1.020-1/83 [Текст] / И.Т. Мирсаяпов, А.И. Фаттахова // Изв. Казанского гос. архитектурно-строительный ун-та. – 2017. – №4. – С. 185-188.

3. Сташевская Н.А. Обзор и анализ исследований применения высокопрочного фибробетона для высотного строительства [Текст] / Н.А. Сташевская, Г.Э. Окольникова, Д.М. Асиков // Системные технологии. – 2017. – №23. – С. 51-55.

УДК 69
Красный Николай Сергеевич, студент;
Krasnyj Nikolai Sergeevich, student Komsomolsk-na-Amure State University
Сысоев Олег Евгеньевич – профессор, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Комсомольск-на-Амуре государственный университет»
Sysoev Oleg Evgenievich – Professor, Doctor of Technical Sciences, Komsomolsk-an-Amure State University

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF DIFFERENT ENCLOSING STRUCTURES OF INDUSTRIAL BUILDING

Аннотация. При строительстве промышленных зданий возникает вопрос, какие материалы следует применять для стенового ограждения. В данной работе будет проведен сравнительный анализ для керамзитобетонной панели по серии 1.432-3, сборной стеновой панели из листа профилированного и минеральных полужестких матов, кирпичной кладки и стеновых сэндвич панелей заводского производства.
Annotation. During the construction of industrial buildings, the question arises as to which materials should be used for wall fencing. In this paper, a comparative analysis will be carried out for expanded clay concrete panels according to the 1.432-3 series, prefabricated wall panels made of profiled sheet and mineral semi-rigid mats, brickwork and wall sandwich panels of factory production.
Ключевые слова: строительство, промышленные здания, ограждающие конструкции, сравнение
Keywords: construction, industrial buildings, enclosing structures, comparison

При строительстве промышленных зданий возникает вопрос, какие материалы следует применять для стенового ограждения. Как вариант надежных ограждающих конструкций в СССР были разработаны стеновые керамзитобетонные панели. Панели навешиваются на колонны здания и служат в качестве ограждающих конструкций. Но такие панели имеют значительный вес, что ведет к сложностям при их монтаже и требует иметь достаточно большой запас прочности несущих конструкций [1-3].

В качестве альтернативы использовалось так же сборное стеновое ограждение из профилированного листа и полужестких минеральных матов. Конструкция устанавливается между прогонов, закрепленных к колоннам здания, и обеспечивает защиту от воздействия окружающей среды. Преимуществом данной конструкции относительно керамзитобетонных панелей является меньший вес и стоимость, однако устройство такого фасада требует больших трудозатрат из-за большого количества операций.

Ограждающие конструкции из кирпича ещё одна распространенная альтернатива. Преимущество кирпичной стены — это её надежность, простота в укладке, долгий срок службы. Но эффективность кирпичной стены в качестве теплоизолирующего контура значительно ниже, чем у панелей с минераловатным утеплителем, из-за чего требуется большая толщина стены, что ведет к удорожанию проекта.

Сэндвич панели заводского изготовления полностью комплектуются на производстве и поставляются на площадку. Ширина стандартной стеновой панели варьируется от 900-1200 мм, а длина выпускается по требованию заказчика, что позволяет перекрывать большие площади. Плиты возможно подогнать под нужную длину и подстроить под нужды проектировщика. Большим плюсом сэндвич панели является её небольшой вес. Монтаж панелей прост, и заключается в закреплении поставляемых с завода панелей к прогонам с помощью специальных саморезов. Но при монтаже сэндвич панелей требуется уделять большое внимание герметичности узлов сопряжения, в целях защиты утеплителя от намокания.

Для сравнения вариантов сравним стоимость и вес разных конструкций, при равном сопротивлении теплопередаче (таблица 1)

Таблица 3 - Характеристики ограждающих конструкций

Материал ограждения	Удельное сопротивление Вт/(м*°С)	Толщина в мм, при условном сопротивлении 1 Вт/(м2*°С)	Вес, кг/м2	Стоимость, руб/м2
1	2	3	4	5
Керамзитобетонная панель по серии 1.432-3	0.41	328.71	361.58	8 905.85 ₽
Кирпичная кладка из керамического пустотного кирпича по гост 530	0.64	513.10	718.34	7 140.00 ₽
Сборная стеновая панель из листа С10-899-0.8 ГОСТ 24045-80 и минераловатной плиты ГОСТ 9573-72	0.049	39.284	20.11	6 500.00 ₽
Стеновая сэндвич панель, производителя НЗСП с минераловатным наполнителем	0.038	30.47	11.20	2 500.00 ₽

Для наглядности составим график сравнения по весу и цене ограждающих конструкций (рисунок 1,2).

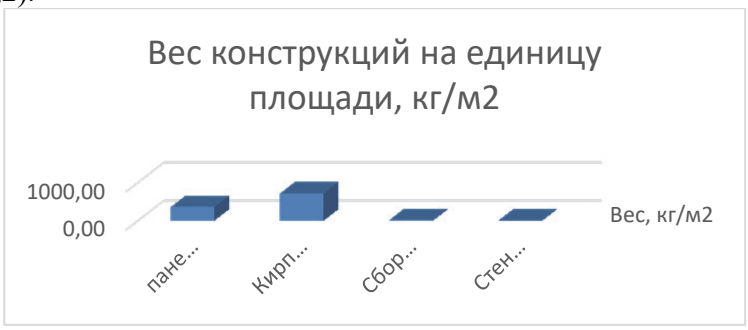


Рисунок 14- Вес конструкций на единицу площади

Из графика видно, что наибольшим весом обладает конструкция кирпичной кладки. Однако при условии, что промышленное здание одноэтажное или в случае, если стена не опирается на несущие конструкции каркаса здания, то вес кирпичной кладки будет напрямую передан на фундамент, что не окажет негативного эффекта на несущие конструкции каркаса. Панель из керамзитобетона закрепляется напрямую на колоннах каркаса здания, что повышает требования к их прочности и негативно сказывается на стоимости реализации проекта.

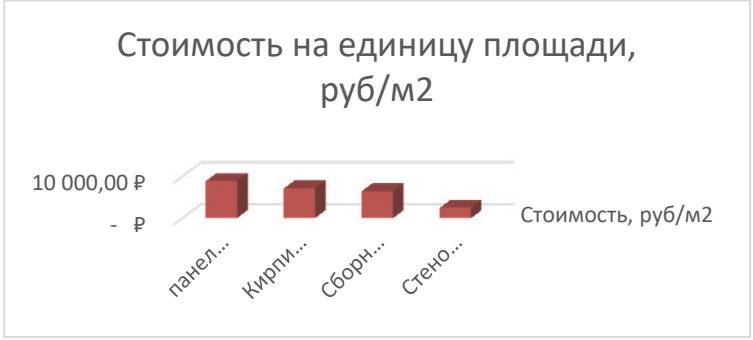


Рисунок 15 - Стоимость на единицу площади

Из графика на рисунке 2 видно, что наиболее дорогим вариантом является керамзитобетонная панель. Менее дорогими кирпичная кладка и сборные стеновые панели. Наиболее дешёвым вариантом является стеновая сэндвич панель заводского производства. Однако учтена только стоимость материалов. Из рассмотренных данных видно, что стеновые сэндвич панели являются довольно выгодным вариантом стенового ограждения промышленных зданий. Благодаря изменению покрытия и содержание панели возможно подстроить их под требуемые условия производственного здания. Но следует учитывать что сэндвич панели очень требовательны к их подбору при проектировании, поскольку имеют большую гибкость, к правильному монтажу узлов примыкания и их сопряжения, а так же должны иметь конструкцию прогонов для их закрепления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сысоев Е.О., Гулиев И.О. Градиент развития малоэтажного строительства на «Дальневосточном гектаре» / Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. Ред.) - Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГУ», 2022. – 124с.

2. Ким Д.В., Сысоев О. Е. Обеспечение безопасных условий труда в строительстве / Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. Ред.) - Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГУ», 2022. – 173с.

3. Бобоев Н.Р., Сысоев О.Е. Исследование проблем проектирования умного дома / Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. Ред.) - Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГУ», 2020. – 123с.

УДК 72.03

Кузнецов Михаил Константинович, студент, Комсомольский - на - Амуре государственный университет
Kuznetsov Mihail Konstantinovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Журавлева Екатерина Викторовна, старший преподаватель, Комсомольск-на-Амуре государственный университет
Zhuravleva Ekaterina Viktorovna, senior lecturer, Komsomolsk-na-Amury State University

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: АРМАТУРА

THE USE OF COMPOSITE MATERIALS IN CONSTRUCTION: REINFORCEMENT

Аннотация: Использование композитных материалов в строительстве, в частности композитной арматуры, дает значительные преимущества по сравнению с традиционной сталью, включая высокую прочность, коррозионную стойкость и легкость. В данной статье рассматривается применение композитной арматуры в современном строительстве, анализируются ее долговечность, экономическая эффективность и экологические преимущества. Сравнивая эксплуатационные характеристики с обычными материалами, авторы исследования подчеркивают потенциал композитов в повышении долговечности конструкций и снижении затрат на техническое обслуживание. Полученные результаты свидетельствуют о том, что композитная арматура является многообещающей альтернативой для устойчивого развития инфраструктуры.

Abstract. The use of composite materials in construction, particularly composite reinforcement, offers significant advantages over traditional steel, including high strength, corrosion resistance, and lightweight properties. This paper explores the application of composite rebar in modern con-

struction, analyzing its durability, cost-effectiveness, and environmental benefits. By comparing performance with conventional materials, the study highlights the potential of composites to enhance structural longevity and reduce maintenance costs. The findings suggest that composite reinforcement is a promising alternative for sustainable and resilient infrastructure development.
Ключевые слова: композитные материалы, строительство, арматура, долговечность, экологичность.
Key words: composite materials, construction, reinforcement, durability, sustainability.

В современном строительстве всё чаще используются новые материалы, которые улучшают надёжность, долговечность и экологическую безопасность зданий. Одной из таких многообещающих альтернатив металлическим изделиям является полимерная композитная арматура (рисунок 1). Она изготавливается из высокопрочных волокон, таких как стекло, базальт, углерод или арамид, которые соединяются с помощью термореактивных смол. Благодаря своим уникальным эксплуатационным свойствам этот материал становится всё более популярным в различных областях строительства [1-4].

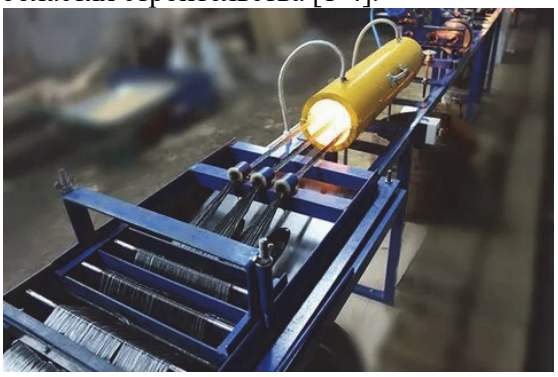


Рисунок 1 - Арматура

Композитная арматура представляет собой современный строительный материал, состоящий из высокопрочных неметаллических волокон, объединённых полимерной матрицей. В отличие от традиционной стальной арматуры, она отличается легкостью, выдающейся прочностью и стойкостью к коррозии.

Преимущества композитной арматуры

1. Превосходное соотношение прочности и массы – при в 4-9 раз меньшем весе демонстрирует предел прочности на разрыв в 2-3 раза выше, чем у стальных аналогов, обеспечивая надежность конструкций при значительном снижении весовой нагрузки.

2. Абсолютная инертность к коррозионным процессам – сохраняет структурную целостность в условиях постоянного воздействия влаги, соленой воды и химически агрессивных сред без дополнительной защиты.

3. Термоизолирующий эффект – благодаря минимальной теплопроводности предотвращает образование температурных мостов, что особенно ценно для энергосберегающего строительства.

4. Эксплуатационная долговечность – расчетный срок службы превышает 80 лет благодаря устойчивости к УФ-излучению, экстремальным температурам и химическим реагентам.

5. Диэлектрическая безопасность – полная электронейтральность материала устраняет риски возникновения паразитных токов и обеспечивает безопасность на объектах с высокими требованиями к электрозащите.

6. Оптимизированный монтажный процесс – легко поддается механической обработке стандартным инструментом, а соединение элементов осуществляется без термического воздействия с помощью полимерных креплений.

7. Динамическая устойчивость – проявляет исключительную стойкость к циклическим нагрузкам, делая её оптимальным выбором для сооружений в зонах повышенной сейсмической активности.

8. Экстремальная температурная адаптивность – сохраняет рабочие характеристики в диапазоне от арктических -70°С до пустынных +100°С без потери эксплуатационных качеств.

9. Экономическая эффективность логистики – сниженная масса и компактность позволяют оптимизировать транспортные расходы, а устойчивость к внешним факторам упрощает требования к складскому хранению.

10. Межматериальная совместимость – успешно интегрируется с различными строительными материалами, включая традиционный бетон, деревянные конструкции и современные полимерные композиты.

11. Минимальные эксплуатационные затраты – отсутствие необходимости в антикоррозийной обработке на протяжении всего жизненного цикла существенно сокращает расходы на обслуживание (рисунок - 2).

Применение композитной арматуры в строительстве

1. Водостойкие строительные решения

Композитные армирующие системы особенно эффективны для:

- Возведения оснований на переувлажненных и заболоченных территориях
- Защиты заглубленных сооружений от постоянного воздействия агрессивных водных сред
- Строительства морских и речных гидротехнических сооружений (пирсы, защитные барьеры, шлюзы)
- Обустройства многоуровневых подземных комплексов и транспортных тоннелей

2. Инновации в транспортном строительстве

Современные технологии применения включают:

- Усиление большепролетных мостовых конструкций с повышенным ресурсом эксплуатации;
- Создание морозоустойчивых дорожных полотен для экстремальных климатических зон;
- Армирование взлетно-посадочных полос с экстремальными нагрузочными характеристиками;
- Возведение защитных инженерных сооружений в горной местности.

3. Антисейсмические строительные технологии

Ключевые преимущества для сейсмоопасных регионов:

- Оптимизация весовых параметров строений при сохранении несущей способности;
- Улучшение деформационных характеристик каркасных систем;
- Сопротивление знакопеременным динамическим воздействиям;
- Реализация строительных проектов с повышенной сейсмической устойчивостью.

4. Технологии восстановления строительных объектов

Современные методы реконструкции:

- Бестраншейное усиление изношенных бетонных конструкций;
- Реабилитация архитектурных памятников и исторических зданий;
- Техническое перевооружение действующих производственных комплексов;
- Экстренное восстановление транспортных переходов в аварийном состоянии.

5. Специализированные строительные технологии

Эксклюзивные сферы использования:

- Возведение сооружений в условиях криолитозоны;
- Строительство на территориях с химически агрессивной средой;
- Разработка интеллектуальных дорожных систем с встроенным мониторингом;
- Монтаж быстровозводимых конструкционных модулей.

Несмотря на отличные эксплуатационные качества, композитные армирующие материалы обладают рядом уникальных особенностей, которые необходимо учитывать:

1. Термическая уязвимость:

- Максимальная рабочая температура ограничена +180°С;
- При термальном воздействии наблюдается расслоение волоконного композита;
- Обязательно применение огнезащитных обмазок для объектов с повышенной пожароопасностью;

2. Механические характеристики:
- Показатель упругости составляет лишь 25-30% от стальных аналогов;
- Хрупкость материала (деформация при разрыве не превышает 2,5%);
- Необходимость применения специальных коэффициентов при расчете несущей способности;

3. Финансовые аспекты внедрения:
- Капитальные затраты превышают стоимость стальной арматуры на 25-50%;
- Дефицит поставщиков в отдаленных регионах;
- Дополнительные расходы на проектно-изыскательские работы.

4. Технологические нюансы:
- Абсолютная несовместимость со сварочными технологиями;
- Требуется разработка индивидуальных узлов крепления;
- Ограниченная номенклатура выпускаемых профилей.

Заключение

Композитная арматура представляет собой многообещающий материал с особыми характеристиками: стойкостью к коррозии, легкостью и высокой прочностью. Она особенно эффективна в агрессивных условиях, что значительно продлевает срок службы конструкций. Хотя у материала есть ограничения по упругости и термостойкости, развитие технологий способствует расширению его применения. Экологические преимущества, такие как отсутствие токсичных покрытий, снижение углеродного следа и возможность переработки, делают его важной частью "зеленого" строительства. Несмотря на необходимость улучшения нормативной базы, композитная арматура открывает новые перспективы для создания долговечных и экологически чистых конструкций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колебания композитных тонкостенных цилиндрических разомкнутых оболочек / А. Ю. Добрышкин, Е. В. Журавлева, Е. О. Сысоев, О. Е. Сысоев // Труды МАИ. – 2022. – № 122. – DOI 10.34759/trd-2022-122-05. – EDN KRROVD.

2. Журавлева, Е. В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е. В. Журавлева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 203-206. – EDN TLFGIH.

3. Журавлева, Е.В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е.В. Журавлева, О.Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы X Международной научно-практической конференции. - Комсомольск-на-Амуре, 2023. - С. 203-206.

УДК 692.299

Лесников Даниил Александрович, студент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет
Lesnikov Daniil Aleksandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сысоев Евгений Олегович, кандидат экономических наук, доцент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет
Sysoev Evgeny Olegovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ОКНА И ДВЕРИ: ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И ДОСТУПА В ЗДАНИЕ

WINDOWS AND DOORS: PROVIDING LIGHTING, VENTILATION AND ACCESS TO THE BUILDING

Аннотация. Данная статья рассматривает различные типы окон и дверей, их конструктивные особенности, материалы изготовления, а также их роль в формировании микроклимата здания, энергоэффективности и безопасности. Анализируются современные тенденции в проектировании и производстве оконных и дверных конструкций, направленные на повышение комфорта проживания и снижение эксплуатационных расходов.
Abstract. This article examines various types of windows and doors, their design features, manufacturing materials, as well as their role in shaping the building's microclimate, energy efficiency, and safety. The article analyzes current trends in the design and manufacture of window and door structures aimed at improving living comfort and reducing operating costs.
Ключевые слова: окна, двери, освещение, вентиляция
Key words: windows, doors, lighting, ventilation

Окна и двери являются неотъемлемыми элементами любого здания, выполняя множество важных функций. Они обеспечивают естественное освещение, вентиляцию, защиту от атмосферных воздействий и несанкционированного доступа. Однако их роль не ограничивается только этими практическими аспектами. Окна и двери также оказывают существенное влияние на формирование микроклимата внутри помещения, энергоэффективность здания и, что немаловажно, его архитектурный облик. В условиях растущего внимания к энергосбережению и комфорту проживания, проектирование и выбор оконных и дверных проёмов. Различные типы окон и дверей и их конструктивные особенности [1-3].

Существует огромное разнообразие оконных и дверных конструкций, отличающихся по материалу изготовления, способу открывания, функциональности и дизайну.

Окна имеют множество самых различных видов:

- по материалу: Деревянные, пластиковые (ПВХ), алюминиевые, дерево-алюминиевые, композитные. Каждый материал обладает своими преимуществами и недостатками в плане теплоизоляции, долговечности, стоимости и эстетики.

- по способу открывания: Распашные, поворотно-откидные, раздвижные, глухие. Выбор способа открывания зависит от функциональных требований, доступного пространства и архитектурных особенностей здания (см. рис. 1).

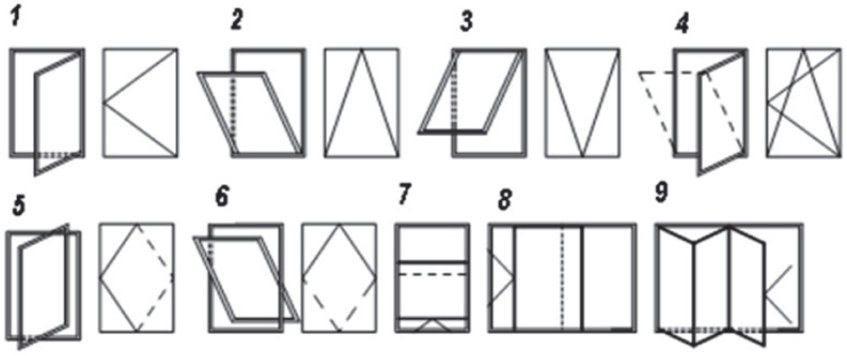


Рисунок 1 – Способы открывания окон

- по конструкции стеклопакета: Однокамерные, двухкамерные, трехкамерные. Количество камер влияет на теплоизоляционные свойства окна. Кроме того, применяются специальные стекла с энергосберегающими покрытиями, отражающие инфракрасное излучение и уменьшающие теплопотери.

Двери также имеют ряд различий:

- по материалу: Деревянные, металлические (стальные, алюминиевые), пластиковые (ПВХ), стеклянные. Выбор материала зависит от назначения двери, будь она входная, межкомнатная или балконная, требуемого уровня безопасности и чисто эстетических предпочтений.

- по конструкции: Одностворчатые, двустворчатые, раздвижные, складные, противопожарные. Конструкция двери меняется в проекте, в зависимости от назначения и условий эксплуатации (см. рис. 2).



Рисунок 2 – Способы открывания дверей

Что касается входных дверей, то здесь внимание уделяется их прочности, теплоизоляции и взломостойкости. Используются усиленные дверные коробки, многозапорные замки и бронированные накладки, если того требуют обстоятельства. Уже у межкомнатных дверей, большое значение имеет дизайн и соответствие интерьеру помещения. Могут быть выполнены из различных материалов и иметь различную отделку.

Роль окон и дверей в формировании микроклимата здания, энергоэффективности и безопасности, заключается в следующем:

- микроклимат: Окна и двери сильно влияют на температуру, влажность и воздухообмен внутри помещения. Правильно подобранные окна обеспечивают достаточное естественное освещение, что снижает потребность в искусственном освещении.

- энергоэффективность: Теплопотери через окна и двери могут составлять значительную часть общих теплопотерь помещения. Использование современных энергосберегающих технологий, таких как многокамерные профили, позволяет значительно снизить теплопотери.

- безопасность: Окна и двери должны обеспечивать защиту от несанкционированного проникновения. Для этого используются ударопрочные стекла, усиленные профили, надежные замки. Особое внимание уделяется безопасности окон в детских комнатах, где устанавливаются специальные блокирующие устройства, предотвращающие случайное открывание (см. рис. 3).



Рисунок 3 – Блокирующее устройство для детских комнат

Основной тенденцией является дальнейшее повышение энергоэффективности окон и дверей. Разрабатываются новые материалы и конструкции, позволяющие снизить теплопотери и улучшить звукоизоляцию. Во-вторых, внедрение технологий “умного дома” позволяет управлять окнами дистанционно, регулировать уровень освещенности и температуры, а также обеспечивать автоматическую вентиляцию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

1. Боловинов, В.М. Окна и двери: конструкция, монтаж, эксплуатация / В.М. Боловинов. — М.: Стройиздат, 2005. — 256 с.

2 Ливчак, И.Ф., Воронов, Ю.В. Отопление и вентиляция. - М.: Стройиздат, 1991. - 512 с.

3 Аминов, Р. Э. Оптимизация расчетов теплотехнических характеристик стеновых конструкций при проектировании жилых зданий / Р. Э. Аминов, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-

практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 143-146. – EDN KUQXGK.

УДК 624.05
Мажитова Юлия Николаевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Mazhitova Yulia Nikolaevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Журавлева Екатерина Викторовна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ekaterina Viktorovna Zhuravleva, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

MODERN APPROACHES TO ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Аннотация. В данной статье рассматриваются современные подходы к оценке технического состояния зданий и сооружений, их преимущества и недостатки, а также перспективы дальнейшего развития в этой области. Оценка технического состояния зданий и сооружений является важным аспектом их эксплуатации, который напрямую влияет на безопасность, долговечность и функциональность объектов. Современные тенденции в строительстве и эксплуатации требуют от специалистов применения новейших методов и технологий для более точной и объективной оценки состояния конструкций. Учитывая возраст зданий, влияние внешних факторов и эксплуатационные нагрузки, актуальность качественной оценки возрастает.
Abstract. This article discusses modern approaches to assessing the technical condition of buildings and structures, their advantages and disadvantages, as well as prospects for further development in this area. Assessment of the technical condition of buildings and structures is an important aspect of their operation, which directly affects the safety, durability and functionality of facilities. Modern trends in construction and operation require specialists to apply the latest methods and technologies for a more accurate and objective assessment of the condition of structures. Taking into account the age of buildings, the influence of external factors and operational loads, the relevance of qualitative assessment increases.
Ключевые слова: оценка технического состояния, здания и сооружения, неразрушающий контроль, эксплуатация, долговечность, дефекты.
Keywords: assessment of technical condition, buildings and structures, non-destructive testing, operation, durability, defects.

Оценка технического состояния зданий и сооружений — это важный процесс, который позволяет определить их безопасность, эксплуатационные характеристики и необходимость в ремонте или реконструкции. С развитием технологий и методов оценки, современные подходы становятся более комплексными и эффективными. В этой статье мы рассмотрим основные методы и технологии, используемые для оценки технического состояния зданий и сооружений [1-3].

В настоящее время обследованиями технического состояния зданий и сооружений в том или ином объеме занимаются разные организации, акционерные общества и т. п., большинство из которых не имеют опыта в этом виде деятельности. В результате нередко появляются работы невысокого качества, не отражающие современных достижений строительной техники и средств измерений [3-5].

Практически не ведется обобщение результатов обследований, проводимых специализированными организациями, что отрицательно сказывается на дальнейшем совершенствовании объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений [1].

Сегодня наблюдается переход к более современным и научным методам, что способствует эффективной и точной оценке состояния. К числу таких методов можно отнести (таблица 1).

Таблица 1 - Современные методы оценки

Метод	Характеристика
Неразрушающие испытания	Эти методы позволяют проводить анализ материалов и конструкций без их повреждения. Они включают ультразвуковую диагностику, радиографию, магнитные и электрические методы. Например, ультразвуковая диагностика может выявить дефекты внутри бетона и металлических конструкций, что важно для правильной оценки состояния.
Мониторинг состояния в режиме реального времени	Современные технологии позволяют устанавливать датчики в зданиях, которые в реальном времени передают данные о параметрах, таких как вибрации, температура и деформации. Эти данные помогают предотвратить аварийные ситуации и планировать работы по ремонту и восстановлению.
Компьютерное моделирование	С использованием программного обеспечения для моделирования инженеры могут создавать компьютерные модели зданий и анализировать их поведение под различными нагрузками. Это позволяет выявлять потенциальные проблемы и разрабатывать стратегии для их устранения.
BIM-технологии	Моделирование информации о здании (BIM) позволяет интегрировать все данные о проекте, включая информацию о материалах, состоянии конструкций и исторических данных о ремонтах. Это создаёт целостный подход к управлению жизненным циклом здания и его оценке.

Современные методы оценки имеют ряд преимуществ, таких как повышенная точность, возможность динамического мониторинга и раннего выявления проблем. Однако они также требуют значительных инвестиций в технологии и обучение персонала. Важной задачей остаётся создание баланса между затраты на технологии и получение качественной информации для принятия решений. С дальнейшим развитием технологий, таких как искусственный интеллект и большие данные, можно ожидать улучшение методов анализа и предсказания состояния зданий. Адаптация новых технологий и подходов к оценке технического состояния будет способствовать созданию более безопасной и устойчивой инфраструктуры (таблица 2).

Таблица 2 - Адаптация новых технологий

Технологии	Адаптация
1.Высокие первоначальные затраты	Внедрение современных технологий может требовать значительных инвестиций на начальном этапе.
2.Сложность системы	Современные системы могут быть сложными для понимания и эксплуатации, что требует дополнительного обучения personnel.
3.Зависимость от технологий	Технологические сбои или ошибки в программном обеспечении могут привести к искажению данных и неверным выводам.
4.Необходимость регулярного обслуживания оборудования	Используемое оборудование требует регулярного обслуживания и калибровки, что увеличивает эксплуатационные расходы.
5.Ограниченность в старых зданиях	Применимость современных методов может быть ограничена для исторических или архитектурно ценных зданий, где важно сохранять исходные характеристики.

Современные подходы к оценке технического состояния зданий и сооружений представляют собой значительный шаг вперед в области управления недвижимостью и

обеспечивают более глубокое понимание состояния объектов. Интеграция новых технологий, таких как системы мониторинга, моделирование данных и автоматизированные анализаторы, позволяет владельцам и управленцам зданий получать актуальную информацию и оперативно реагировать на изменения. Важно отметить, что несмотря на свои преимущества, современные методы также имеют свои недостатки, включая высокие начальные затраты и сложность в эксплуатации. Тем не менее, преимущества, такие как улучшение точности и снижение затраты на обслуживание, делают их разумным выбором для большинства современных зданий. Таким образом, внедрение современных подходов к оценке технического состояния зданий и сооружений способствует повышению уровня безопасности, комфортности и долговечности объектов, а также их эффективному управлению. На фоне стремительного развития технологий в строительстве и эксплуатации зданий, использование передовых методов оценки становится не только желательным, но и необходимым для успешного функционирования зданий в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Техническая оценка зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д. С. Воробьев ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Электронные текстовые и графические данные (0,5 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. — Учебное электронное издание. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: http://www.vgasu.ru/ publishing/on-line/ — Загл. С титул. экрана.

2. Сысоев О.Е., Добрышкин А.Ю., Сысоев Е.О. Критерии мониторинга предельных состояний конструкционных материалов при различных траекториях циклического нагружения по параметрам акустической эмиссии/ Сысоев О.Е., Добрышкин А.Ю., Сысоев Е.О.//Комсомольск-на-Амуре, 2022

3. Мовшович М.М., Сысоев Е.О.К вопросу исследования аварийности на магистральных трубопроводах // Мовшович М.М., Сысоев Е.О. / В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 116-120.

4. Джумаев Ф.Б., Сысоев Е.О. Особенности расчета трубобетонных элементов / Джумаев Ф.Б., Сысоев Е.О.// В сборнике: МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 44-46.

5. Журавлева, Е. В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е. В. Журавлева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 203-206. – EDN TLFGIH.

УДК 69.07

Малиновская Вероника Кирилловна, студент, Российский Университет Транспорта РУТ (МИИТ)
Malinovskaya Veronika Kirillovna, student, Russian University of Transport RUT (MIIT)
Сидорова Полина Максимовна, студент, Российский Университет Транспорта РУТ (МИИТ)
Sidorova Polina Maksimovna, student, Russian University of Transport RUT (MIIT)

РОЛЬ ОБСЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

THE ROLE OF SURVEYS AND TESTS IN CONSTRUCTION

Аннотация. В данной статье рассматривается роль обследований и испытаний в строительстве. На основе проведенного анализа и изучения конкретных примеров обрушения зданий и сооружений, связанных с данной проблемой, подтверждена необходимость проведения испытаний и обследований на протяжении всего жизненного цикла объекта.
Abstract. This article examines the role of surveys and testing in construction. Based on the analysis and study of specific examples of building and structure collapses related to this problem, the need for testing and surveys throughout the life cycle of an object is confirmed.
Ключевые слова: слова: обследования, испытания, роль, риски, аварии, эксплуатация, обрушения.
Key words: surveys, tests, role, risks, accidents, operation, collapses.

В современном строительстве, где важнейшей задачей является качество, безопасность и долговечность зданий и сооружений, испытания, обследования и определение технического состояния занимают центральную роли. Эти этапы представляют собой важную составляющую жизненного цикла [1] строительных объектов и требуют внимательного планирования. С ростом сложности и многообразия технологий в строительстве, исследование материалов, конструкций и объектов становится все более актуальным. Обследования зданий не только способствуют соблюдению нормативных документов, но и обеспечивают эффективное и ответственное управление строительными проектами, что в результате приводит к созданию более безопасной и устойчивой городской среды. Обследования представляют собой систематические и организованные проверки технического состояния зданий и их конструкций, направленные на анализ состояния уже существующих объектов, осуществляемые для выявления свойств строительных материалов и конструкций. Они могут включать в себя различные виды испытаний, такие как механические, физико-химические и термические. Они делятся на текущие (для выявления дефектов) и плановые (для систематической оценки состояния здания). Представленные процессы, способны увеличить срок долговечности конструкции, обеспечить безопасность, и минимизировать риск аварий и несчастных случаев.

Значение испытаний и обследований в строительстве

Испытания и обследования строительных объектов – это неотъемлемая часть обеспечения безопасности, качества, долговечности и экономической эффективности на протяжении всего жизненного цикла здания – от проектирования до эксплуатации [2,3]. Их значение трудно переоценить, поскольку они служат надежным инструментом для предотвращения катастроф, минимизации затрат и соблюдения действующих нормативных требований. Рассмотрим подробнее каждую из ключевых ролей.

1. Обеспечение безопасности. Строительные сооружения, независимо от их масштаба и назначения, постоянно подвергаются различным воздействиям. Испытания на прочность, жесткость, устойчивость и долговечность, проводимые на разных этапах строительства, позволяют оценить реальную несущую способность объекта и его способность противостоять различным видам нагрузок.

2. Контроль качества. Обследования, проводимые на всех стадиях строительства, позволяют выявить отклонения от проектной документации, некачественные материалы, нарушения технологии изготовления [4] и строительных работ и дефекты, возникшие в процессе эксплуатации. В рамках контроля качества применяются различные методики: визуальный осмотр, инструментальные измерения, лабораторные исследования.

3. Экономическая эффективность. Проведение различных регулярных обследований и испытаний является экономически выгодным мероприятием в долгосрочной перспективе. Раннее обнаружение дефектов позволяет предотвратить дорогостоящий капитальный ремонт или даже полную замену конструкций.

4. Соответствие нормативным требованиям. Проведение обследований и испытаний является обязательным условием для получения разрешений на строительство, ввода объ-

екта в эксплуатацию и его дальнейшей эксплуатации. Результаты обследований служат документальным подтверждением соответствия объекта нормативным требованиям.

Роль испытаний и обследований в предотвращении аварий

Проведение испытаний и обследований способно предотвратить множество аварий и катастроф. Существует множество аварий, вызванных обрушением из-за недооценки нагрузки, из-за применения некачественных материалов и т.п. Одна из них случилась 16 февраля 2016 г. в городе Чернигов (Украина). Произошло обрушение крыши многоквартирного дома на два этажа (рисунок 1). Инцидент случился утром, когда жильцы второго этажа уже вышли из своих квартир. Предварительные расследования показывают, что причиной обрушения стали некачественные элементы стропильной системы здания.



Рисунок 1 – Обрушение крыши многоквартирного
2-этажного дома в г.Чернигов

Другой случай произошел 4 декабря 2005 года в городе Чусовой Пермской области: обрушение кровли бассейна, в результате которого были человеческие жертвы (рисунок 2) [5]. Площадь обрушения составляла 150 м². До аварии производилось обследование объекта, при котором не было выявлено никаких повреждений. Только уже после обрушения выяснилось, что на самом деле коррозийный износ ферм крыши объекта составил 50% [6], а вес кровли увеличился в два раза (рисунок 3).



Рисунок 2 – Авария бассейна в г. Чусовой Пермской области

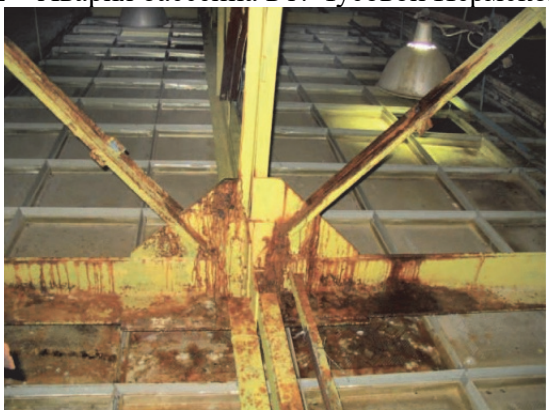


Рисунок 3 – Коррозия фермы бассейна

Также рассмотрим аварию Басманного рынка в Москве [7]. При реконструкции рынка была пристроена лифтовая башня, однако она не входила в состав проектных нагрузок. Из-за чего произошла перегрузка конструкции. В ходе расследования причин аварий было выяснено, что лифтовая башня была пристроена даже без ведома конструкторов. Некоторые элементы несущей вантовой системы имели коррозийный износ до 50 % [8] (рисунок 4).



Рисунок 4 – Авария Басманного рынка в Москве

Значительное количество обрушений жилых домов происходит по причине взрыва бытового газа. В Москве в процессе капитального ремонта предполагается использование современного оборудования, включая датчики утечки газа. Все многоквартирные дома, в которых используются газовые плиты, должны быть оснащены такими датчиками, а также автоматическими запорными вентилями в системе подачи газа. Приведенные примеры подтверждают, что даже после завершения строительных работ контроль за состоянием объектов остается критически важным. Регулярные проверки помогают следить за состоянием конструкций и избежать аварий.

Испытания и обследования в строительстве играют ключевую роль в обеспечении безопасности, надежности и долговечности строительных объектов. Они помогают выявлять дефекты и нарушения на всех этапах — от проектирования до эксплуатации, способствуют соблюдению нормативным требованиям и предотвращают аварии, которые могут привести к серьезным последствиям. Роль испытаний и обследований в строительной отрасли становится особенно значимой в условиях увеличения сложности сооружений, роста требований к их надежности и экологической устойчивости. Использование передовых технологий в сочетании с регулярным контролем позволяет не только продлевать срок службы зданий, но и создавать безопасную и комфортную среду для жизни.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Условные обозначения (маркировка) строительных материалов и конструкций для информационного использования на всех этапах жизненного цикла / Н. Г. Келасьев, Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2020. – № 3. – С. 124-130. – DOI 10.22337/2077-9038-2020-3-124-130. – EDN COVHSC.

2. Купчикова, Н. В. Концепция управления экспертизой геоподосновы, оснований и фундаментов на всех стадиях жизненного цикла / Н. В. Купчикова, А. С. Таркин, Е. Е. Купчиков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 1(39). – С. 101-104. – DOI 10.52684/2312-3702-2022-39-1-101-104. – EDN QMLBOH.

3. Федоров, В. С. Комплексная модель управления обеспечением пожарной безопасности высотных зданий / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, А. С. Реснянская // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : Материалы VI Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной ко Дню российской науки, Астрахань, 08–09 февраля 2023 года / Под общей редакцией Т.В. Золиной. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 14-25. – EDN SFLRPB.

4. Трекин, Н. Н. Совершенствование нормативной базы стандартизации сборных железобетонных конструкций / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов // Железобетонные конструкции. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 64-71. – EDN KBRATA.

5. The improvement of protection methods from the progressive collapse of one-storey industrial buildings / N. N. Trekin, E. N. Kodysh, N. G. Kelasiev [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019, Moscow, 13–15 ноября 2019 года. Vol. 1425. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012050. – DOI 10.1088/1742-6596/1425/1/012050. – EDN PULCCK.

УДК 69.05

Миронов Данила Николаевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Mironov Danila Nikolayevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сысоев Олег Евгеньевич, профессор, доктор технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sysoev Oleg Evgenyevich, professor, Doctor of Technical Sciences, Komsomolsk-na-Amure State University

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРФОРАТОРОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

EFFICIENCY OF USING HAMMER DRILLS IN CONSTRUCTION

Аннотация. В сфере строительства и ремонта перфоратор заслуженно считается одним из основных инструментов. Учитывая масштабность таких задач, крайне важно подобрать максимально производительное и долговечное оборудование. В данной работе проводится анализ различных моделей перфораторов, их сопоставление методом сравнительных издержек, с целью выявления наиболее оптимального варианта для эффективного выполнения работ.
Abstract. In the field of construction and repair, the rotary hammer is deservedly considered one of the main tools. Given the scale of such tasks, it is extremely important to choose the most productive and durable equipment. In this paper, we analyze various models of rotary hammers, compare them using the comparative cost method, in order to identify the most optimal option for effective performance of work.
Ключевые слова: перфоратор, строительство, инструмент, эффективный, сравнение.
Key words: hammer drills, construction, tool, efficient, comparison.

В Хабаровском крае, как и во многих других регионах, сейчас активно ведутся строительные и ремонтные работы, требующие применения надежного, производительного и доступного по цене инструмента. Перфоратор – один из важнейших инструментов, используемых в этой сфере. Поэтому важно провести анализ доступных моделей и выбрать оптимальный вариант для эффективного выполнения поставленных задач [1, 2].

В строительной сфере перфоратор незаменим для:

- Проделывания отверстий в таких материалах, как бетон, кирпич и природный камень.
- Прокладки каналов в стенах для электропроводки и формирования углублений под установку розеток и выключателей.
- Формирования новых или увеличения существующих оконных и дверных проёмов.
- Удаления устаревших покрытий, включая штукатурку и керамическую плитку.
- Выполнения сверлильных работ по дереву и металлу.
- Тщательного смешивания строительных смесей и лакокрасочных материалов.

Рассмотрим несколько образцов перфораторов, представленных на рынке.

Таблица 4 - Технические характеристики перфораторов.

Наименование	STURM RH2518	Вихрь П-2000к-м SDS-Max 72/3/21	Зубр Профес-сионал SDS Max 1350 Вт	Кратон RH-1600-32 3 07 01 030	WORTEN SDS-plus сетевой 1900W KA-90000341
Тип двигателя	Щеточ-ный	Щеточный	Щеточный	Щеточный	Щеточ-ный
Мощность, Вт	1850	2000	1350	1600	1900
Количество режимов	3	2	2	3	3
Max сила уда-ра, Дж	7	13	12,5	5	10
Max диаметр сверления бу-ром (бетон), мм	36	42	45	32	40
Max диаметр сверления ко-ронкой (бетон), мм	68	110	135	120	105
Длина кабеля, м	2	2	5	2,2	1,8
Вес, кг	5,73	7,5	6,8	5,4	4,5
Цена, тыс. руб.	15,217	15,19	20,489	12,49	12,24

Для наглядности в сравнении приведём несколько графиков.

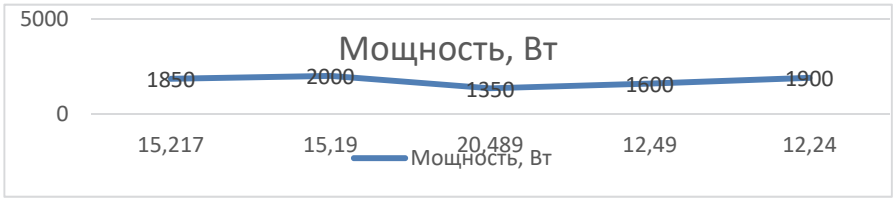


Рисунок 16 - Влияние мощности на стоимость перфоратора.

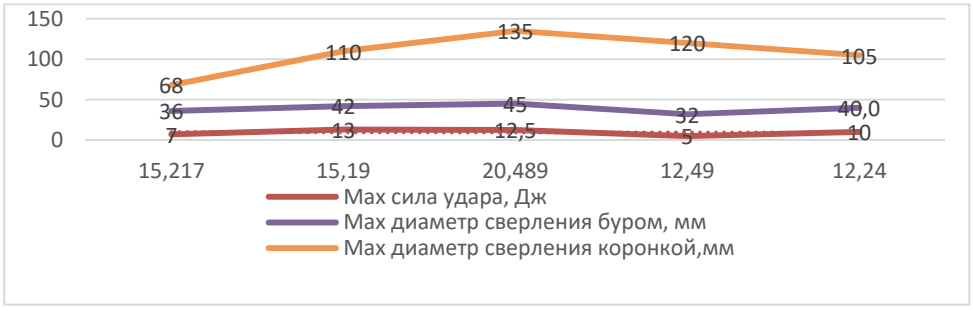


Рисунок 2- Зависимость Max силы улара, мах диаметра сверления буром и коронкой от цены перфоратора.

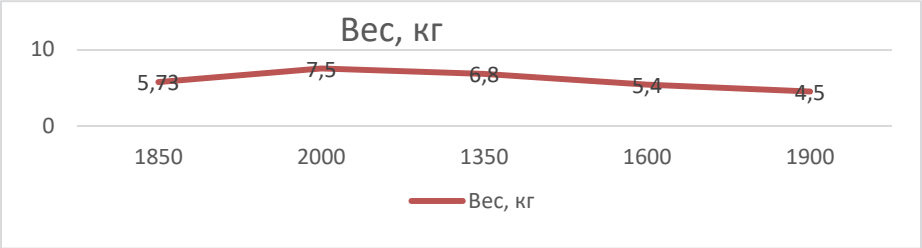


Рисунок 3 - Взаимосвязь между массой и производительностью перфоратора.

С целью повышения беспристрастности, выполним расчет на основе критерия наименьших дисконтированных расходов, используя следующую формулу:

$$П = С + Е_Н \cdot К, \quad (1)$$

где С – себестоимость эксплуатации машины, р.;

$Е_н$ = 0,15 – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в строительстве;

К – капитальные вложения, р.

Из расчёта объёма работ V = 10 м^3 эффективность приведена в таблице

Таблица 5 - Расчёт приведённых затрат

Наименование	STURM RH2518	Вихрь П-2000к-м SDS-Max 72/3/21	Зубр Профес-сионал SDS Max 1350 Вт	Кратон RH-1600-32 3 07 01 030	WORTEN SDS-plus сетевой 1900W KA-90000341
Приведенные затраты П	15629	15641	20840	12478	12345

Приведём график для сравнения инструментов по критерию приведённых затрат

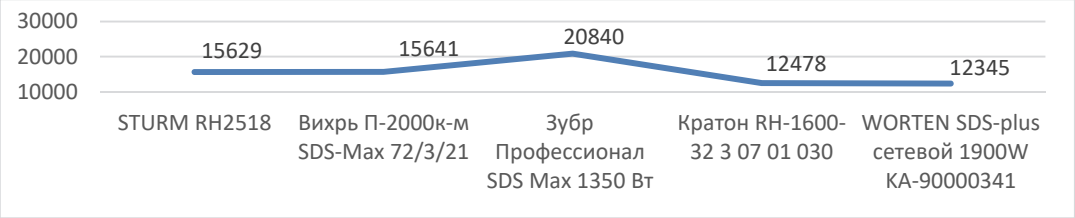


Рисунок 4 - Приведённые затраты перфораторов.



Рисунок 5 – Перфоратор WORTEN SDS-plus сетевой 1900W KA-90000341.

Перфоратор – незаменимый помощник при строительстве и ремонте. Благодаря сменным насадкам, которые легко устанавливаются, этот инструмент становится универсальным. При выборе перфоратора важно учитывать такие характеристики, как мощность, вес, максимальный диаметр сверления буром или коронкой, а также стоимость. Для достижения максимальной эффективности необходимо правильно подобрать инструмент, исходя из этих параметров. Анализ различных моделей перфораторов показал, что сетевой перфо-

ратор WORTEN SDS-plus 1900W KA-90000341 является наиболее экономически выгодным решением с точки зрения суммарных затрат.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Проект частного дома с учётом эргономики жилого пространства. Олейникова С.А., Юшкина М.В., Сысоев О.Е. В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 4-х частях. Редколлегия: Э.А. Дмитриев (отв.ред.), А.В. Космынин (зам.отв.ред.). Комсомольск-на-Амуре, 2021. С. 109-111.

2. Программа для расчета энергоэффективности зданий и сооружений. Наботов П.Р., Добрышкин А.Ю., Сысоев О.Е. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021618524, 28.05.2021. Заявка № 2021617434 от 04.05.2021.

УДК 699.841

Михайлова София Сергеевна, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Mikhailova Sofia Sergeevna, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering
Трекин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Trekin Nikolay Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering
Терехов Иван Александрович, кандидат технических наук, доцент, АО «ЦНИИПромзданий»
Terekhov Ivan Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, JSC "TsNIIpromzdaniy"

КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ В ЕВРОПЕЙСКОМ СОЮЗЕ, США И КИТАЕ

DESIGN REQUIREMENTS FOR CONSTRUCTION IN SEISMIC AREAS IN THE EUROPEAN UNION, USA AND CHINA

Аннотация. В статье приведены некоторые конструктивные требования, предъявляемые при строительстве в сейсмических районах, проведен их сравнительный анализ. В работе использовались нормативные документы следующих стран: России, стран Европейского союза, США, Китая. Кратко отмечены основные особенности конструктивных решений железобетонных конструкций.
Abstract. The article presents some design requirements for construction in seismic areas and conducts a comparative analysis of them. The work uses regulatory documents from the following countries: Russia, the European Union, the USA, and China. The main features of reinforced concrete structures are briefly noted.
Ключевые слова: нормативный документ, конструктивные требования, сейсмичность, железобетон, армирование.
Key words: regulatory document, design requirements, seismicity, reinforced concrete, reinforcement.

Проблема защиты зданий и сооружений от сейсмических воздействий является актуальной. Инженерный анализ произошедших катастроф позволил получить сведения о механизмах возникновения землетрясений и характере их проявления [1-2]. Различные страны имеют свои подходы к вопросу решения проблемы расчета и конструирования зданий в сейсмоопасных районах строительства. В данной статье будет проведен сравнитель-

ный анализ конструктивных требований к зданиям, расположенных в сейсмоопасных регионах России, стран Европейского союза, США, Китая [3-4].

Документом, с которым выполнен анализ, являлся СП 14.13330.2018 (с изм. 2-4) «СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» [5].

Нормы Европейского Союза

В Европейском Стандарте EN 1998-1 «Еврокод 8: Проектирование конструкций с учетом сейсмостойкости — Часть 1: Общие правила, сейсмические воздействия и правила для зданий» подчеркивается необходимость обеспечения при проектировании подходящего пластического механизма разрушения и исключения хрупкого.

Некоторые элементы сооружения (например, балки и/или колонны) могут быть запроектированы как «второстепенные» элементы, которые не воспринимают сейсмическую нагрузку.

Разделы EN критерии регулярности в плане и по высоте практически полностью совпадают с разделом СП 14.13330 «Здания и сооружения с сейсмоизоляцией».

Даются рекомендации по применению определенных видов фундаментов, при этом использование разных типов фундаментов в одном блоке не рекомендуется.

В EN реализован подход, согласно которому конструкции подразделяются по классам пластичности:

-железобетонные здания могут проектироваться с учетом низкой способности к диссипации энергии и низкой пластичности, применяя при этом только правила документа EN 1992-1-1:2004.

-железобетонные здания должны проектироваться для обеспечения способности диссипации энергии и общей пластической работы, классифицируются по двум классам пластичности DCM (средняя пластичность) и DCH (высокая пластичность), в зависимости от их гистерезисной диссипативной способности.

По материалам конструкций существуют следующие требования:

-для средней пластичности DCM. Бетон класса ниже С 16/20 не должен использоваться в основных сейсмостойких элементах. За исключением замкнутых хомутов и поперечин, в качестве стальной арматуры в критических областях основных сейсмостойких элементов должны использоваться только стержни периодического профиля. В критических областях основных сейсмостойких элементов должна использоваться стальная арматура класса В или С.

-для высокой пластичности DCH. В основных сейсмостойких элементах не должен использоваться бетон класса ниже, чем С 20/25. В критических областях основных сейсмостойких элементов должна использоваться стальная арматура класса С.

Общий процент продольного армирования в колоннах должен быть не менее 1 % и не более 4 %. В симметричных поперечных сечениях должно предусматриваться симметричное армирование.

В разделе конструирование с учетом локальной пластичности указывается ограничение предельных деформаций бетона $\varepsilon_{cu2,c} = 0{,}0035 + 0{,}1\alpha\omega_{wd}$ (α - коэффициент эффективности ограниченной зоны бетона хомутами, ω_{wd} - механический объемный коэффициент арматуры хомутов).

Сравнивая нормы РФ и Европейского союза, можно отметить, что в последних особое внимание уделяют вопросу пластической работы конструкции.

Нормы США

В стандарте американского общества гражданского строительства ASCE 7-16 «Минимальные расчетные нагрузки и соответствующие критерии для зданий и других сооружений» по вопросам конструирования указаны в основном требования, применимые к стальным и сборным стеновым системам.

Предельная этажность определяется не только типом конструктивной системы и материалом конструкций, но и классом сейсмического проектирования. Класс нерегулярности конструкции также зависит от класса сейсмического проектирования, который в свою очередь определяется степенью риска и сейсмичностью строительной площадки.

Подчеркивается важность расчета с учетом влияния разжижения и потери прочности грунта в результате сейсмических воздействий.

Более конкретно конструирование железобетонных элементов рассмотрено в ACI 318-19 «Требования строительных норм и правил к бетонным конструкциям».

Аналогично EN различаются конструктивные элементы, воспринимающие сейсмическую нагрузку и элементы, которые ее не воспринимат. В нормах приведены конструкции для определенного класса сейсмического проектирования, которые требуется рассчитывать на сейсмическое воздействие.

Минимальный процент армирования определяется как типом конструкции, так и классом арматуры, так же есть ограничения по минимальному числу стержней:

- площадь продольной арматуры колонн должна составлять не менее 0,01 A_g и не превышать 0,06 A_g (A_g- общая площадь бетонного сечения). В колоннах с косвенным армированием должно быть не менее шести продольных стержней. По высоте колонны продольное армирование должно быть выбрано таким образом, чтобы оно составляло $1{,}25l_d \leq l_u/2$. (длина продольных балок между колоннами — l_d, высота колонны — l_u)

- балки должны иметь как минимум по два непрерывных стержня верхнего и нижнего армирования. На любом участке, как для верхней, так и для нижней арматуры, количество арматуры должно не меньше чем при проектировании на эксплуатационные нагрузки, а процент армирования не должен превышать 2,5 % для арматуры 60-го класса и 2 % для арматуры 80-го класса.

Как и во всех нормах в приопорных зонах балок и колонн требуется дополнительное армирование на расстояние, которое соответствует определенным значениям или зависит от диаметра и класса арматуры, аналогично С14.

Некоторые конструктивные решения практически полностью совпадают с нормами Еврокода, ниже на рисунках приведены конструкции армирования связующих элементов, объединяющих стены.

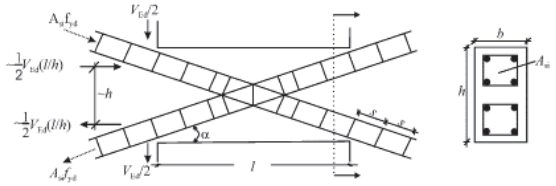


Рисунок 1 – Связующие балки с диагональным армированием в EN 8

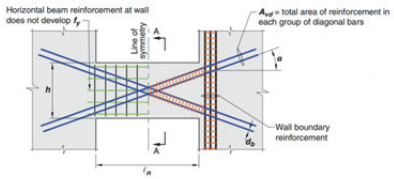


Рисунок 1 – Связующие балки с диагональным армированием в ACI 318-19

Таким образом, требования норм американского института бетона перекликаются с нормами Европейского союза, в тоже время отдельные требования имеют общее с СП 14.13330, например, максимальный процент армирования для колонн совпадает и равен 6%.

Нормы Китая

В национальном стандарте Китайской Народной Республики GB 50011-2010 «Правила сейсмического проектирования зданий» отмечается нежелательное использование фундаментов разных типов в одном отсеке. Приводятся конструктивные решения фундаментов, чтобы снизить эффект разжижения грунта. Приведенная максимальная этажность в среднем выше по значениям, так же в таблице больше типов конструктивных систем. Влияние неоднородностей, определенных в норме, должно быть учтено в проекте здания. В зависимости от конструктивной системы, материала конструкции и сейсмичности площадки нормы определяют 1-4 сейсмический класс, который будет далее определять параметры конструирования: класс бетона, минимальный процент армирования, расположение арматуры в балках и другое. Следует использовать обычную арматуру с лучшей пластичностью, прочностью и свариваемостью. В качестве продольной несущей арматуры следует выбирать горячекатаную арматуру с индексом сейсмостойкости не менее HRB400, HRB335. Требуется использовать мягкие стали с общим удлинением при максимальном растягивающем напряжении не менее 9%, соотношение измеренного предела прочности к измеренному пределу текучести стальной арматуры должно быть не менее 1,25. Нормы ограничивают степень осевого сжатия колонны в зависимости от типа конструктивной системы и класса сейсмич-

ности. Класс сейсмичности также определяет минимальный процент армирования, приведенный в таблице 1.

Таблица 1 – Минимальный процент армирования колонн

Тип колонн	Сейсмический класс			
	I	II	III	IV
Центральная колонна и боковая колонна	0,9(1,0)	0,7(0,8)	0,6(0,7)	0,5(0,6)
Угловая колонна и колонна рамного каркаса	1.1	0,9	0,8	0,7

Общий процент армирования колонны не должен превышать 5 %, для боковых и угловых колонн общая площадь поперечного сечения продольной стальной арматуры должна быть увеличена на 25% от расчетного значения.

Нормы Китая имеют немного другой подход в вопросе классификации зданий. Если EN классифицируют здания по способности конструкции к пластическим деформациям, то китайские нормы делят на классы в зависимости от этажности, типа конструктивной системы и уровня сейсмичности строительной площадке. Некоторые конструктивные требования имеют сходства с другими нормами, например, максимальный процент армирования для норм Китая составляет 5%, для российских и американских – 6 %, для европейских – 4 %.

Обобщая вышесказанное, можно отметить, что все нормативные документы придерживаются основных принципов проектирования: конструктивная простота, регулярность и симметрия. Конструкции должны быть жесткими в двух направлениях, особое внимание уделяется анкеровке, стыковым соединениям и местам с нелинейной работой. Нормы EN 8 используют классификацию конструкций, которая основывается на их способности к диссипации энергии. В нормах РФ также присутствует классификация по степени пластической работы конструкции, но она отражается в расчетах, не в конструировании. В целом, нормативные документы всех стран отражают стремление использовать пластическую работу элементов конструкции и их соединений. Рассматривая конкретные аспекты конструирования можно заметить, как схожесть требований, так и близкие значения определенных параметров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Введение в проектирование технически сложных зданий и сооружений / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, Н. Г. Келасьев, И. А. Терехов. – Москва : Издательство АСВ, 2022. – 294 с. – ISBN 978-5-4323-0439-1. – EDN APULUG.

2. Трекин, Н. Н. О необходимости нормирования особого предельного состояния / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов // XIV Российская. национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию : Материалы конференции. – М: РАСС, 2021. – С. 129-132.– EDN JECLDJ.

3. Бунов, А. А. Сравнительный анализ традиционных принципов проектирования рамных стальных сейсмостойких конструкций / А. А. Бунов, Д. С. Сидоров, В. Б. Дорожинский // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 9(117). – С. 583-595. – EDN DWPMOM.

4. Сесар, А. А. Ч. История и современные требования сейсмической оценки зданий в мировой практике подход / А. А. Ч. Сесар // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – № 4. – С. 1056-1071. – EDN OSKBQS.

5. Сейсмостойкие многоэтажные здания с железобетонным каркасом / Я. М. Айзенберг, Э. Н. Кодыш, И. К. Никитин [и др.]. – Москва : Ассоциация строительных вузов, 2012. – 264 с. – ISBN 978-5-93093-840-1. – EDN QNPWLH.

УДК 699.841

Михайлова София Сергеевна, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Mikhailova Sofia Sergeevna, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering

Трекин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Trekin Nikolay Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering
Терехов Иван Александрович, кандидат технических наук, доцент, АО «ЦНИИПромзданий»
Terekhov Ivan Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, JSC "TsNIIpromzdaniy"

КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ В СТРАНАХ СНГ

DESIGN REQUIREMENTS FOR CONSTRUCTION IN SEISMIC AREAS IN THE CIS COUNTRIES

Аннотация. В статье выполнен сравнительный анализ конструктивных требований России и стран СНГ, предъявляемых к зданиям и сооружениям, расположенным в сейсмически опасных районах, относительно требований СП 14.13330.2018 (с изм. 2-4) «СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах». Отмечены основные особенности при проектировании железобетонных конструкций.
Abstract. The article presents a comparative analysis of the design requirements of Russia and the CIS countries for buildings and structures located in seismically hazardous areas, in relation to the requirements of SP 14.13330.2018 (with amendments 2-4) "SNiP II-7-81* "Construction in seismic areas". The main features in the design of reinforced concrete structures are noted.
Ключевые слова: нормативный документ, конструктивные требования, сейсмичность, железобетон, армирование.
Key words: regulatory document, design requirements, seismicity, reinforced concrete, reinforcement.

Теория сейсмостойкости развивалась постепенно, поскольку каждая новая катастрофа преподносила уроки, опыт которых давал новые знания о механизмах возникновения землетрясений, характере их проявления. Одновременно каждое землетрясение – проверка инженерных знаний, требований к конструктивным решениям. Разные страны имеет свой уникальный подход к вопросу решения проблемы расчета и конструирования здания в сейсмоопасном районе строительства [1-2]. В данной статье будет проведен сравнительный анализ конструктивных требований к зданиям, расположенных в сейсмоопасных регионах в странах СНГ [3].

Базовым документом, с которым будет выполнен анализ, принят действующий в Российской Федерации СП 14.13330.2018 (с изм. 2-4) «СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах».

Нормы Республики Казахстан

СП РК 2.03-30-2017 «Строительство в сейсмических зонах» [4] определяет аналогичные положения к конструктивным решениям, однако в СП 14.133330 приведены конкретные критерии по регулярности, условиям недопущения излишнего кручения.

В нормах Казахстана предельные размеры зданий в плане представлены как в зависимости от материала каркасных систем, так и в зависимости от категории грунтов. Значения предельной этажности для рамно-связевого железобетонного каркаса приняты более высокие, для монолитных стен — более низкие. Нормы регламентируют вопросы проектирования на строительных площадках с сейсмичностью в 10 баллов.

В отличие от СП 14.133330 процент армирования не зависит от класса арматуры, а определяется типом конструкции: минимальный процент для стен — 0,2%, для колонн при сейсмичности площадки 7 и 8 баллов – 0,8%, при сейсмичности 9 баллов — 1,2%; максимальный процент для всех конструкций — 4%.

В некоторых вопросах отечественные нормы более осторожные:

-даны ограничения для определённого класса бетона по высоте сжатой зоны;

-отмечены допустимые классы, марки напрягаемой и ненапрягаемой арматуры;

-длина нахлестки должна быть на 30% больше значений, рассмотренных в нормативном документе по железобетонным конструкциям, СП РК допускает увеличение на 25%;

-в предварительно-напряженных конструкциях не допускается применять арматуру с относительным немного меньшим удлинением при разрыве менее 2%, чем в СП 14.13330 — 2,5%.

Присутствуют и аспекты, в которых СП 14.133330 допускает меньшие ограничения:

-максимальный процент армирования для определенных сталей согласно СП 14.133330 может составлять 6% против 4% в СП Казахстана, кроме того в СП РК устанавливает требования к минимальному проценту армирования и классу бетона по прочности на сжатие, для монолитных стен;

-диаметр хомутов должен быть не менее 6 мм согласно отечественным нормам, нормы Казахстана допускают не менее 8мм.

Нормы Республики Армения

В СНРА II-6.02-2006 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования» отсутствуют строгие критерии регулярности здания, нормы допускают поэтажное изменение величин горизонтальных жесткостей смежных этажей на 25%, в СП 14.13330 только на 20%.

Во избежание резонансных явлений нормы предписывают проектировать здание с первой формы свободных колебаний в определенных промежутках относительно преобладающий период колебаний грунтовой толщи.

Значения предельной этажности не дифференцируются по конструктивной системе, приняты более низкие относительно СП Казахстана и России. Строительство зданий с неполным каркасом не допускается. В зданиях с пространственным рамным каркасом и диафрагмами жесткости последние устанавливаются в двух направлениях с определенным шагом.

Даны дополнительные конструктивные требования для строительства на слабых грунтах (IV категория грунта)

Ограничение высоты сжатой зоны в отличие от СП 14.13330 не зависит от балльности сейсмического воздействия и принимается с учетом $0{,}75\xi_R$.

Присутствуют ограничения по максимальному проценту армирования в колоннах каркасных зданий в зависимости от класса арматуры:

-СП 14.13330 устанавливает 6% для классов А400 и А500, 4% для класса А600;

-в нормах Республики – 4% от площади сечения элемента для арматуры классов А-I, А-II, А-III и 3% – для арматуры класса $А_Т$-IVс.

Некоторые требования аналогичны нормам Казахстана:

-усилия, определяемые из условия прочности сечений предварительно напряженных конструкций при сейсмических воздействиях, должны превышать усилия, воспринимаемые сечением при образовании трещин, не менее чем на 25%.

-в предварительно напряжённых конструкциях не допускается применять арматуру, для которой относительное удлинение после разрыва ниже 2%, а также арматурные канаты и стержневую арматуру периодического профиля диаметром более 28 мм без специальных анкеров.

-ограничения по глубине заложения фундамента

-размеры отсеков в пределах антисейсмического шва даны в зависимости от категории грунтов.

Нормы Республики Узбекистан

В нормах КМК 2.01.03-19«Строительство в сейсмических районах» [5] помимо данных допустимых значений выступов и перепадов, которые совпадают со значениями, отраженными в СНРА, отмечены критерии регулярности, которые затем учитываются в расчете коэффициентом, повышающим сейсмическую силу, аналогично нормам Казахстана.

Помимо ограничений этажности и длины отсека в пределах шва указан также допустимый пролет и шаг поперечных стен, колонн, рам.

Как и нормы Казахстана, нормы Узбекистана содержат некоторые рекомендации по проектированию в районах с сейсмичностью свыше 9 баллов:

- в районах сейсмичностью 9 и более баллов не допускается применение овального, крестообразного, Т-образного, трапециевидного сечении, прямоугольного сечения с отношением сторон более 2;

- в узлах соединения сборных ригелей с колоннами должны быть предусмотрены элементы в виде вутов.

Как и в нормах Армении ограничение высоты сжатой зоны, не дифференцированно для различной балльности сейсмического воздействия, принимается с учетом $0{,}85\xi_R$.

В отличие от СП 14.13330 и СНРА процент армирования не зависит от класса арматуры, а определяется типом конструкции и полностью совпадает с нормами Казахстана. Применение неармированных бетонных несущих элементов, воспринимающих сейсмические нагрузки, не допускается.

Нормы Узбекистана не допускают применять арматурные стали, относительное удлинение после разрыва, которых превышает 2%. Применяемый класс бетона нормируется только при конструировании стен – не ниже В7,5, а в районах сейсмичностью более 9 и 9* баллов — не ниже В15.

Нормы Республики Киргизия

В СН КР 20-02:2018 «Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования» предельные размеры зданий в плане представлены как в зависимости от материала каркасных систем, так и в зависимости от категории грунтов как в Республике Казахстан и Республике Армения.

Значения предельной этажности приняты аналогичными СП РК.

В случае строительства на площадке с III типом грунтов с сейсмичностью в 9 баллов следует отдавать предпочтение жестким зданиям с периодом колебаний по первой форме менее 0,5 с.

Раздел нормативного документа, содержащий особенности проектирования железобетонных конструкций, практически полностью повторяет одноименный раздел отечественного СП 14.13330 за исключением требований к проценту армирования, которые совпадают с СП РК и КМК.

Нормы предписывают для зданий (кроме крупнопанельных) высотой более 5 этажей принимать монолитные железобетонные стены подвалов.

Историческое нахождение рассмотренных стран в составе СССР определило схожее решение проблемы расчета и конструирования зданий в сейсмоопасных районах. По результатам анализа установлено, что нормы Российской Федерации и Республик Казахстан, Армения, Узбекистан и Киргизия придерживаются схожих принципов конструирования в области сейсмостойкого строительства с близкими значениями конкретных параметров. При этом нормы Республики Армения имеют ряд более строгих ограничений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Введение в проектирование технически сложных зданий и сооружений / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, Н. Г. Келасьев, И. А. Терехов. – Москва : Издательство АСВ, 2022. – 294 с. – ISBN 978-5-4323-0439-1. – EDN APULUG.

2. Трекин, Н. Н. Совершенствование нормативной базы стандартизации сборных железобетонных конструкций / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов // Железобетонные конструкции. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 64-71. – EDN KBRATA.

3. Камчыбеков, М. П. К вопросу развития инженерной сейсмологии / М. П. Камчыбеков, К. А. Егембердиева // Вестник Института Сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики. – 2024. – № 2(24). – С. 28-34. – EDN XUIMQM.

4. Ицков, И. Е. Расчетные положения новых норм Республики Казахстан СП РК 2.03-30-2017 "Строительство в сейсмических зонах" / И. Е. Ицков // Вестник Международ-

ной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – 2018. – № 5(5). – С. 24-27. – DOI 10.30451/iaeee.509. – EDN IFBBSO.

5. Проектирование зданий и сооружений с учетом сейсмических воздействий в Республике Узбекистан / М. Н. Убайдуллоев, О. Убайдуллоев, Н. Убайдуллоева, Л. Насруллаев // Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. – 2022. – № 2(14). – С. 69-74. – DOI 10.38054/iaeee-202223. – EDN JORKDE.

УДК 624.011.14

Монин Евгений Александрович, студент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет
Monin Evgeniy Aleksandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Комсомольск-на-Амуре государственный университет
Sysoev Oleg Evgenevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

БУДУЩЕЕ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

THE FUTURE OF WOODEN HOUSING CONSTRUCTION

Аннотация. В статье рассмотрены современные тенденции деревянного домостроения, которое на сегодняшний момент переживает ренессанс, вызванный растущим интересом к экологически чистым и энергоэффективным решениям в строительстве. Данная статья анализирует преимущества дерева как строительного материала по сравнению с традиционными материалами, такими как бетон и сталь. Особое внимание уделяется способам повышения надежности и долговечности деревянных конструкций, а также рассматриваются инновационные технологии и материалы, способствующие развитию деревянного домостроения в будущем.
Abstract. The article examines the current trends in wooden house construction, which is currently undergoing a renaissance caused by the growing interest in environmentally friendly and energy-efficient solutions in construction. This article analyzes the advantages of wood as a building material compared to traditional materials such as concrete and steel. Special attention is paid to ways to increase the reliability and durability of wooden structures, as well as innovative technologies and materials that contribute to the development of wooden housing in the future.
Ключевые слова: деревянное домостроение, экологичность, надежность, клееный брус, противопожарная защита
Key words: wooden house construction, environmental friendliness, reliability, glued timber, fire protection.

Будущее деревянного домостроения не за горами, и приобретает всё большую актуальность, мы часто можем увидеть каркасные дома. Деревянные дома потеряли раннее свою актуальность из-за того, что подвержены сгораниям. Ведь если коммуникация в доме даст сбой, то за достаточно маленькое количество времени огонь охватит не только всё сооружение, но и пристройки, если те тоже выполнены из дерева [1].

Деревянные конструкции сильно уступают конструкциям из бетона, стали или газоблока, а также этот материал подвержен воздействию влаги, огня, насекомых и грибков. Но можно отметить и преимущества данного материала, к примеру экологичность. Дерево является единственным строительным материалом, который возобновляется естественным путем. Конечно, чтобы выросло 1 дерево потребуется много лет, но всё же. Также дерево обладает низкой теплопроводностью по сравнению с бетоном и сталью. Это означает, что при строительстве надлежащим образом деревянные дома требуют меньше энергии для отопления зимой и охлаждения летом, снижая эксплуатационные расходы и выбросы парниковых газов. Дерево также очень эстетично выглядит, в последнее время его всё чаще используют в дизайне [2, 3].

Совсем недавно придумали инновационные материалы из дерева в сфере строительства, а конкретно домостроения. Самыми известными являются клееный брус и перекрестно-клееная древесина. Эти материалы, в отличие от обычного бруса - обладают повышенной прочностью, стабильностью размеров и огнестойкостью:

- клееный брус – это брус, изготавливаемый путем склеивания нескольких слоев (ламелей) из древесины хвойных пород (чаще всего ели, сосны или лиственницы) с использованием высокопрочных клеев (см. рис. 1).

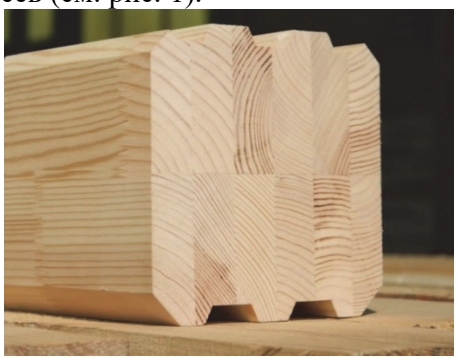


Рисунок 1 – Клееный брус

Ламели обычно имеют сортамент, чтобы обеспечить оптимальную прочность и внешний вид готового продукта. Преимущества использования клееной древесины заключается в том, что она обладает значительно более высокой прочностью на изгиб и растяжение по сравнению с цельной древесиной, более высокой огнестойкостью, при пожаре наружный слой древесины обугливается, образуя защитный слой, который замедляет распространение огня и защищает внутреннюю часть конструкции. Это особенно важный пункт, как и было рассмотрено в начале, именно по причине низкой огнестойкости – дерево не выбирают материалом для строительства.

- перекрестно-клееная древесина – это многослойная панель, состоящая из нескольких слоев древесных досок, склеенных и спрессованных между собой (см. рис. 2).



Рисунок 2 – Перекрестно-клееная древесина

Это обеспечивает высокую прочность и низкую восприимчивость к нагрузкам во всех направлениях. Такой материал изготавливают из хвойных пород деревьев. На выходе имеем – быстрый монтаж, лёгкую транспортировку [3].

Таблица 1 - Сравнение клееной древесины и перекрестно-клееной древесины

Характеристика	Клееный брус	Перекрестно-клееная древесина
Форма	Балки, колонны, арки	Панели
Направление волокон	Параллельное	Перекрестное
Применение	Несущие элементы, перекрытия с большим пролетом	Стены, перекрытия, крыши
Размер	Длина до 40 метров и более	Ширина до 3 метров, длина до 12 метров
Назначение	Преимущественно линейные элементы	Преимущественно плоские элементы

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алешин, Н.П. Современные тенденции развития деревянного домостроения в России / Н.П. Алешин // Лесной вестник. – 2022. – Т. 26, № 3. – С. 125-134. – DOI: 10.18698/2306-4110-2022-3-125-134.

2. Браун, М.Д. Проектирование и строительство из массива древесины / М.Д. Браун ; пер. с англ. – М.: Стройиздат, 2021. – 480 с.

ГОСТ 30244-94. Строительные материалы. Методы испытаний на горючесть. – М.: Стандартинформ, 2007. – 20 с.

3. Иванов, В.В. Оценка жизненного цикла деревянных зданий с использованием метода углеродного следа / В.В. Иванов, П.С. Петров // Строительные материалы. – 2023. – № 7. – С. 56-62.

4. Карпов, А.Л. Энергоэффективность деревянных зданий: современные подходы и технологии / А.Л. Карпов, С.И. Сидорова // Жилищное строительство. – 2020. – № 12. – С. 30-35.

УДК 69.059.7

Нагорная София Дмитриевна, магистрант высшей школы гидротехнического и энергетического строительства, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Nagornaya Sofia Dmitrievna, Master's student at the Higher School of Higher School of Hydrotechnical and Power Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Цветков Олег Юрьевич, кандидат географических наук, доцент высшей школы гидротехнического и энергетического строительства, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Tsvetkov Oleg Yurievich, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Higher School of Hydrotechnical and Power Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ БЕТОНОВ

A MODERN APPROACH TO THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES USING SELF-HEALING CONCRETE

Аннотация. В статье рассматривается современный подход к восстановлению и реконструкции зданий и сооружений, находящихся в разной степени износа. Целью работы является анализ инновационного материала, направленного на повышение долговечности и надёжности конструкций. Особое внимание в этой статье уделяется самовосстанавливающемуся бетону - материалу, способному к саморегенерации. В частности, рассмотрим его механизм функционирования и применение в строительстве, а также преимущества и недостатки. Результаты работы позволят провести анализ и оценить использование современного материала в строительстве.

Abstract. The article discusses a modern approach to the restoration and reconstruction of buildings and structures that are in varying degrees of wear. The purpose of the work is to analyze an innovative material aimed at increasing the durability and reliability of structures. Special attention in this article is paid to self-healing concrete, a material capable of self-regeneration. In particular, we will consider its functioning mechanism and application in construction, as well as advantages and disadvantages. The results of the work will make it possible to analyze and evaluate the use of modern materials in construction.

Ключевые слова: самовосстанавливающийся бетон, реконструкция биоразлагаемые капсулы, полимерные капсулы, бактерии Bacillus.

Key words: self-healing concrete, reconstruction biodegradable capsules, polymer capsules, Bacillus bacteria.

На сегодняшний день разработано, создано, апробировано и успешно применяется множество современных инновационных подходов, материалов и технологий для усовершенствования ремонтно-строительных работ для восстановления и реконструкции зданий и сооружений. Обусловлено это двумя ключевыми факторами.

Во-первых, значительная часть существующих объектов капитального строительства в Российской Федерации имеет достаточно высокий процент физического износа, вызванного как, правило длительной эксплуатацией, климатическими условиями и несвоевременным техническим обслуживанием;

Во-вторых, экономические затраты для проведения реконструкции зачастую оказываются выше, чем строительство нового объекта, примерно на 20-25% от стоимости. [1]

В качестве одного из возможных способов решения проблемы связанной с физическими свойствами традиционного бетона, был предложен современный инновационный материал - самовосстанавливающийся бетон.

Целью данной работы является анализ актуального метода реконструкции зданий и сооружений с акцентом на передовые материалы, обеспечивающие повышение долговечности, надежности реконструируемых объектов. Применение самовосстанавливающегося бетона в строительстве, как инновационной технологии, способной по-другому взглянуть на совершенствование проведения ремонтных работ и последующего обслуживания железобетонных конструкций, а также обеспечение эффективной защиты армирующих элементов от возможной коррозии.

На современном этапе строительная отрасль сталкивается с необходимостью поддерживать имеющийся фонд зданий и сооружений и постоянно обновлять его. Отдельные узлы и конструкции в целом изнашиваются как из-за объективных факторов (длительная эксплуатация, климатические воздействия), так и из-за субъективных (несвоевременное и недостаточное обслуживание, ошибки при проектировании и строительстве и т.д.). Поэтому необходимость в новых, усовершенствованных материалах и технологиях весьма актуальна.

Ключевыми проблемами, существующих методов в сфере строительства, являются следующие:

- ограниченный срок службы - традиционные материалы, не способны обеспечить значительного увеличения долговечности конструкции;
- низкая культура производства ремонтных работ приводит к повторному возникновению трещин и микроповреждений в конструкциях;
- ремонт и обслуживание требуют ощутимых затрат и продолжительного времени;

Приведённые выше проблемы являются первичными и в комплексном решении необходимо отталкиваться от них. При этом следует отметить, что явно наблюдается устойчивая тенденция модернизации «традиционных» методов ремонта и восстановления объектов за счёт использования в том числе и самовосстанавливающихся бетонов. Самовосстанавливающийся бетон – материал, который способен самостоятельно запускать процесс восстановления микротрещин на поверхности конструкции. Данный материл, был создан голландскими учеными, впервые его использование предложил Хэнк Джонкерсон из Делфтского технического университета в 2005 году. В течение трёх лет он искал метод реализации своей идеи. Основной задачей было найти основу, которая смогла бы выполнять основные функции, а именно «выживать» в суровых климатических условиях и продлевать срок службы материалов ограждающих и несущих конструкций здания. Таким образом, проверив множество вариантов, остановились на нескольких наиболее эффективных, позволивших создать самовосстанавливающийся строительный материал.

Использование бактерий. Лактат кальция и бактерии инкапсулируются в биоразлагаемые капсулы размером 2-4 мм. Затем полученные таким образом капсулы добавляются в бетонный раствор с использованием химических активаторов. И далее при нормальной эксплуатации капсулы остаются неповреждёнными, а бактерии находятся в состоянии покоя. В случае появления микротрещин целостность капсул нарушается, к бактериям поступает вода (атмосферная либо искусственное намокание), что выводит их из состояния ана-

биоза и активизирует их жизнедеятельность. Увеличение количества бактерий приводит к пропорциональному увеличению объёма выделяемого известняка, который и заполняет возникшие микротрещины [1, 2].

Добавление полимерных капсул. В поверхностную зону бетонной конструкции вводятся микрокапсулы, содержащие полимерные материалы, которые высвобождаются при образовании трещин и заполняют их. Затем под действием ультрафиолета полимер затвердевает полностью, восстанавливая целостность бетона.

Применение добавок, стимулирующих гидратацию цемента. Эти добавки позволяют цементу сократить время необходимое для затвердевания. Добавка повышает смачивание, гидратирование и обеспечивает однородность смеси.

При сравнении всех доступных способов достижения эффекта самовосстановления бетона основной упор был сделан в сторону использования специфического бактериального материала как наиболее действенного [3, 4]. Наиболее важным условием реализации данного метода явилось свойство микроорганизмов к стабильной устойчивости, ведь адаптироваться к экстремально щелочной среде присутствующей в бетоне могут лишь немногочисленные виды алкалофильных бактерий. Как правило это бактерии вида *Bacillus,* палочковидные либо спорообразующие. Они проявили свою уникальную живучесть в состоянии анабиоза на протяжении многих лет и стремительную активизацию в случаях образования микротрещин с воздействием на них либо кислорода, либо воды. Для усиления эффекта самовосстановления разработчиками метода был выявлен и дополнительно рекомендован к применению режим «кормления» бактерий *Bacillus*, который происходит за счёт применения лактата кальция, предшественника образования известняка (карбоната кальция). Как известно кальциевая соль молочной кислоты или лактат кальция имеет белый цвет, быстрорастворимый в воде с химической формулой:

$$Ca(C_3H_5O_3)_2 \quad (1).$$

Однако в случаях неконтролируемого увеличения численности колонии микроорганизмов за счёт естественного размножения вполне возможен обратный процесс, т.е. снижение прочностных характеристик конструкции. Поэтому с целью стабильного существования продолжительностью до двухсот лет оптимальной численности бактерий их вводят в состояние технического анабиоза.

Химические реакции процесса самовосстановления бетона представлены формулами 2 и 3.

$$8 < \mathrm{pHwater} Ca_2^+ + CO_2 + 2OH^- \rightarrow CaCO_3 + H_2O, \quad (2)$$

$$7 < \mathrm{pHwater} < 8 Ca_2^+ + HCO_3 \rightarrow CaCO_3 + H^+ \quad (3)$$

На рисунке 1 [5] представлена визуализация одного из возможных вариантов процесса самовосстановления бетона с использованием адаптированных микроорганизмов вида *Bacillus*.

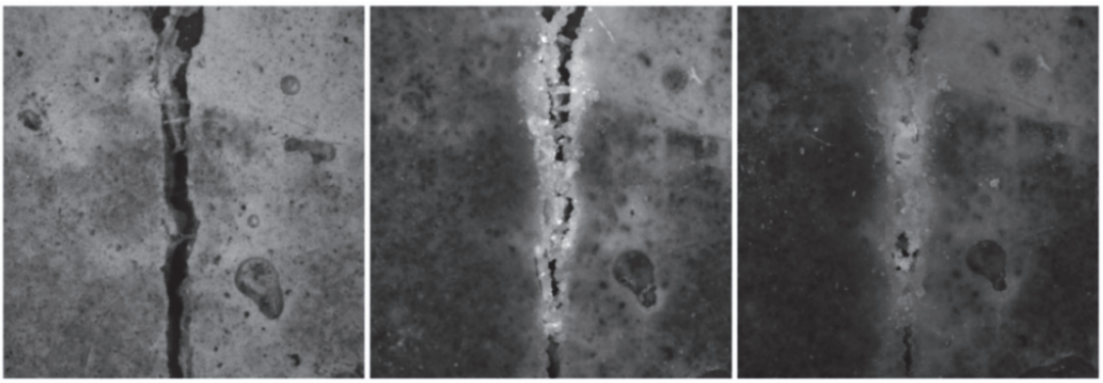


Рисунок 1 - Самовосстановление бетона с использованием бактерий вида *Bacillus [5]*

Бетон, обладающий свойствами самовосстановления, имеет значительные преимущества по сравнению с традиционным бетоном:

1. Значительное увеличение срока эксплуатации конструкций: самоликвидация трещин предотвращает попадание влаги и агрессивных веществ, что замедляет коррозию арматуры и разрушение самого бетона.

2. Снижение расходов на обслуживание: уменьшение количества ремонтов и увеличение срока службы значительно сокращают затраты на обслуживание.

3. Повышение надежности и безопасности: улучшенные эксплуатационные характеристики конструкций делают их более надежными и безопасными.

4. Экологическая безопасность: некоторые виды самовосстанавливающегося бетона изготавливаются из экологически чистых материалов.

Вместе с тем необходимо учитывать и возможные недостатки данной технологии, а именно:

✓ Высокая стоимость: производство самовосстанавливающегося бетона пока обходится дороже, чем традиционного так как использование специальных бактерий увеличивает себестоимость материала.

✓ Ограниченная глубина и ширина заделываемых трещин: пока что самовосстановление эффективно только для мелких трещин (обычно до 0,8 мм, в зависимости от технологии). Более крупные повреждения требуют традиционных методов ремонта.

✓ Необходимость определенных условий для самовосстановления: для активации процесса часто требуются определенные условия, такие как наличие влаги и кислорода. В сухих или герметичных условиях самовосстановление может быть малоэффективным или вовсе неэффективным.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о значительных перспективах развития самовосстанавливающегося бетона в сфере строительства. Эта технология позволяет принципиально изменить подход к ремонту и обслуживанию железобетонных конструкций, эффективно решая проблему увеличения сроков эксплуатации объектов и снижения затрат на обслуживание.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Яклашкин, В. Н. Самовосстанавливающийся бетон в железобетонных конструкциях / В. Н. Яклашкин, Р. Р. Хасаншина, А. Ф. Пыркин, Е. В. Люкшенкова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 28 (475). — С. 29-32. — URL: https://moluch.ru/archive/475/104888/ (дата обращения: 24.03.2025).

2. Глушакова Ю.С., Латина С.В. Методы расчёта железобетонных конструкций : Современные наукоемкие технологии. 2013. № 7-1. С. 59. Учредители: ООО "Издательский дом "Академия естествознания" ISSN: 1812-7320.

3. Бирюков В.С., Смирнов А.С., Тамбовцев А.М., Чередниченко Т.Ф. Тенденции современного строительства: самовосстанавливающийся бетон : Инженерный вестник Дона, №2 (2022) ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7457.

4. Жукова Г.Г., Сайфулина А.И. Исследование применения самовосстанавливающегося бетона // Construction and Geotechnics. – 2020. – Т. 11, № 4. – С. 58–68. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.4.05.

5. Васильев А.С., Латина С.В. Необходимость автоматизации проектирования состава тяжёлых бетонов : Современные наукоемкие технологии. 2013. № 7-1. С. 59а. Учредители: ООО "Издательский дом "Академия естествознания" ISSN: 1812-7320

УДК 691.535

Надёжкин Максим Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Nadezhkin Maxim Evgenievich, student, Komsomolsk-na-Amur State University

Сысоев Олег Евгеьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство и архитектура», ФГБОУ ВО Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sysoe Oleg Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction and Architecture, Komsomolsk-na-Amure State University

ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК

FEATURES OF WINTER CONCRECTING WITH THE USE OF ANIFROST ADDATIVES

Аннотация. Зимнее бетонирование – это сложная и ответственная задача, требующая особого подхода к внешним факторам и характеристикам применяемых материалов. В этой статье подробно рассматриваются особенности бетонирования в зимний период с использованием противоморозных добавок, которые гарантируют необходимую прочность и долговечность бетона даже при низких температурах. В данной работе анализируется влияние противоморозных добавок на свойства бетона и определяются оптимальные условия его укладки и последующего ухода. Исследование выявило, что применение противоморозных добавок существенно повышает качество бетона, снижает вероятность образования трещин и увеличивает его морозостойкость, что делает данную технологию востребованной в строительстве во время зимнего сезона. Статья также предлагает практические советы по подбору и использованию противоморозных добавок, которые окажутся полезными для строительных специалистов.

Abstract. Winter concreting is a complex and demanding task that requires a special approach to external factors and the characteristics of the materials used. This article discusses in detail the features of concreting in winter using antifreeze additives that guarantee the necessary strength and durability of concrete even at low temperatures. This paper analyzes the effect of antifreeze additives on the properties of concrete and determines the optimal conditions for its installation and subsequent maintenance. The study revealed that the use of antifreeze additives significantly improves the quality of concrete, reduces the likelihood of cracking and increases its frost resistance, which makes this technology in demand in construction during the winter season. The article also offers practical advice on the selection and use of antifreeze additives that will be useful for construction professionals.

Ключевые слова: бетонирование, противоморозные добавки, бетонная смесь, гидратация цемента, прочностные характеристики.

Key words: concreting, antifreeze additives, concrete mix, cement hydration, strength characteristics.

Бетонирование в зимний период представляет собой сложную строительную задачу, особенно в холодных климатических зонах. Отрицательное воздействие низких температур замедляет гидратацию цемента, ухудшая прочность и долговечность бетона. Важность этой темы связана с необходимостью гарантировать надежность и безопасность зданий, возводимых зимой. В последние годы растет интерес к противоморозным добавкам, которые смягчают негативные последствия холода.

Данная работа исследует особенности зимнего бетонирования с использованием добавок и анализирует их воздействие на характеристики бетона. Рассматривается широкий спектр добавок, их механизмы воздействия и эффективность. Тема достаточно изучена, но оптимальные дозировки добавок и влияние различных факторов на бетонирование требуют дальнейших исследований. Зимнее бетонирование требует особого внимания, поскольку низкие температуры замедляют гидратацию и снижают прочность бетона. Использование противоморозных добавок ускоряет эти процессы и обеспечивает необходимую прочность в короткие сроки. В статье представлены результаты экспериментов, проведенных при низких температурах, и рекомендации по выбору добавок, и технологий бетонирования зимой. Это улучшит качество бетона и снизит затраты на его производство и укладку.

Бетонирование при отрицательных температурах – непростая задача, требующая заблаговременной подготовки и строгого следования технологическим нормам. Мороз способен существенно замедлить реакцию гидратации цемента, что чревато негативным последствиями, включая снижение прочности, возникновения трещин и, как, следствие, разрушение бетонной конструкции. Поэтому использование специальных добавок, предот-

вращающих замерзание, является обязательным условием для качественного проведения бетонных работ в зимнее время [1-4].

Виды противоморозных добавок:

Для предотвращения замерзания строительных растворов применяются различные добавки, которые подразделяются по химическому строению и принципу работы [5-7]. Ключевые категории противоморозных добавок следующие:

1. Хлориды, например, хлористый кальций и хлористый натрий – популярные противоморозные соли, снижающие точку замерзания воды в бетонной смеси. Широкое применение в строительстве обусловлено их экономичностью и действенностью. Тем не менее, они способны вызывать ржавление стальной арматуры, что требует особого внимания при подборе добавок. Следует учитывать, что хлористый кальций способен ускорить затвердевание бетона, что особенно важно при работе в холодных условиях.

2. Органические соединения, такие как карбамид и глицерол, оказывают менее разрушительное воздействие на арматуру и могут комбинироваться с солями для достижения наилучшего результата. Их часто используют, когда необходимо снизить вероятность коррозии, что делает их предпочтительным выбором в определенных ситуациях.

3. Введение пластификаторов вместе с противоморозными добавками улучшает подвижность бетонной смеси, упрощая ее укладку и обеспечивая однородность. Кроме того, пластификаторы способствуют уменьшению соотношения воды и цемента, повышая прочность бетона.

Оптимальные условия бетонирования:

Исследования показали, что наиболее эффективное количество противоморозных добавок варьируется в зависимости от температуры воздуха и состава бетонной смеси. К примеру, при температуре около -5^0C целесообразно добавлять 2-3% хлористого кальция от веса цемента, что обеспечит достижение требуемой прочности в течении суток. Следует помнить, что более низких температурах может возникнуть необходимость в увеличении концентрации добавок, чтобы компенсировать замедление гидратации. Важной составляющей зимних бетонных работ является обеспечение надлежащего ухода за уложенным бетоном. В первые дни, когда бетон наиболее подвержен воздействию низких температур, необходимо предохранять его от замерзания. Для этого можно использовать теплоизоляционные покрытия, нагревательные приборы или специализированные пленки. Рекомендуется регулярно контролировать температуру бетона, чтобы исключить ее падение ниже допустимого значения.

Практические применения:

Для эффективного бетонирования следует принимать во внимание важные аспекты:

1. Подбор добавок. Тщательно выбирать морозостойкие добавки, учитывая условия, в которых будет выполняться бетонирование, и требуемую прочность бетона. Целесообразно предварительно протестировать разные варианты, чтобы найти оптимальную дозировку.

2. Температурный режим. Критически важно отслеживать температуру воздуха и самого бетона во время укладки и последующего ухода. При необходимости нужно использовать дополнительные способы подогрева.

3. Уход за бетонной смесью. Обеспечение правильного ухода за бетоном на начальном этапе затвердевания имеет решающее значение для достижения проектной прочности. Рекомендуется применение защитных материалов и систем обогрева.

Применение противоморозных добавок при бетонировании в зимнее время – действенный метод для гарантирования прочности и долговечности бетонных конструкций в холодных условиях. Применение таких добавок существенно улучшает характеристики бетона, уменьшает вероятность появления трещин и увеличивает его устойчивость к морозам. Для достижения оптимальных результатов необходимо учитывать ряд аспектов – температура окружающей среды, рецептура бетонной смеси, особенности ухода за ней. Основываясь на результатах проведенного анализа, можно, заключить, что грамотный выбор противоморозных компонентов и строгое следование технологическим нормам бетонирования в зимний период является определяющим фактором для успешной реализации стро-

ительных проектов. Будущие исследования в этой области могут привести к созданию инновационных, более результативных добавок и технологических решений, что улучшит качество и надежность возводимых объектов. Важно, чтобы строительные профессионалы продолжали изучать и применять современные методы и технологии, что позволит свести к минимуму возможные риски и повысить эффективность зимнего бетонирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технология зимнего бетонирования / И.И. Иванов // М.: Стройиздат– 2015. 201 с.
2. Сидоров В.Г., Петров П.П. Противоморозные добавки для бетона. СПб.: Политехника, 2013. 152 с.
3. Калашников В.И. Технология бетонных работ в зимних условиях. М.: Высшая школа, 2009. 267 с.
4. Коровяков В.Ф. Зимнее бетонирование монолитных конструкций // Научно-технический и производственный журнал «Бетон и железобетон». 2003. No3. С. 6-8.
5. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. М.: Минрегион России, 2012.
6. ГОСТ 10060.0-95. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Введ. 1996-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2008. 10 с.
7. ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Введ. 2009-03-01. М.: Стандартинформ, 2013. 20 с.

УДК 691.328
Натаров Даниил Витальевич, студент, Российский университет транспорта
Natarov Daniil Vitalievich, student, Russian University of Transport
Бочановский Даниил Андреевич, студент, Российский университет транспорта
Bochanovsky Daniil Andreevich, student, Russian University of Transport

РАЗВИТИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В АРМАТУРЕ

DEVELOPMENT OF CORROSION DAMAGE IN REINFORCEMENT

Аннотация. Коррозия арматуры представляет собой серьезную проблему в строительстве, поскольку она может привести к разрушению железобетонных конструкций или снижению их прочности. В данной статье проанализированы основные причины возникновения коррозионных повреждений и их влияние на арматуру, а также приведены последствия коррозии.
Abstract. Reinforcement corrosion is a serious problem in construction, as it can lead to the destruction of reinforced concrete structures or a decrease in their strength. This article analyzes the main causes of corrosion damage and their impact on reinforcement, and also provides the consequences of corrosion.
Ключевые слова: железобетон, арматура, коррозия, конструкция, обрушение.
Key words: reinforced concrete, reinforcement, corrosion, construction, collapse.

В современном обществе строительство занимает ключевую позицию в формировании инфраструктуры и создании комфортных условий для жизни. Однако возникает серьезная проблема, способная оказать негативное воздействие на надежность и срок службы железобетонных сооружений — коррозия арматуры.

Повреждения, вызванные коррозией арматуры, могут привести к разрушению бетонных элементов и уменьшению их прочности. Это, в свою очередь, может повлечь за собой деформации, осадку и даже обрушение зданий и конструкций. Таким образом, изучение причин и механизмов возникновения коррозии арматуры представляет собой актуальную задачу для строителей. Коррозия арматуры представляет собой серьезную проблему в строительстве, поскольку она может привести к разрушению железобетонных конструкций или снижению их прочности [1, 2].

В данной статье мы проанализируем основные причины возникновения коррозионных повреждений и их влияние на арматуру:

1. Агрессивные среды и атмосферные осадки. Влияние таких факторов, как влага, соли, кислоты и щёлочи, может способствовать коррозии арматуры. Влага, в частности, играет ключевую роль, так как она содействует формированию электрохимических пар на металлических поверхностях. Коррозия в результате атмосферных осадков также часто возникает из-за колебания температур.

2. Некачественные материалы. Применение материалов низкого качества для производства арматуры может также приводить к коррозии. Например, арматура из углеродной стали более уязвима к коррозионным процессам по сравнению с арматурой из нержавеющей стали.

3. Механические повреждения. Повреждения, такие как царапины и трещины, увеличивают вероятность возникновения коррозии, поскольку такая поверхность становится подверженной агрессивным воздействиям.

4. Нарушение технологии строительно-монтажных работ. Нарушения могут быть связаны с недостаточной жесткостью опалубки, редким расположением стоек при бетонировании, недостаточным защитным слоем бетона, отсутствием вибрирования, применением слишком жесткой бетонной смеси и т.д. (рисунки 1 и 2).



Рисунок 1 – Коррозия арматуры в железобетонной перемычке



Рисунок 2 – Коррозия арматуры в монолитной плите перекрытия

5. Неправильная эксплуатация. Нарушение условий эксплуатации, таких как отсутствие герметичности гидроизоляции, также может вызвать коррозию арматуры.

К последствиям коррозии арматуры можно отнести следующее:

- снижение прочности железобетонных конструкций. Коррозия ведет к ослаблению арматуры, что может закончиться разрушением;

- ухудшение эксплуатационных характеристик. Коррозия может привести к деформациям конструкций, нарушению работы инженерных систем и даже обрушению зданий;

- экономические потери. Коррозия требует дополнительных затрат на восстановление, что может вызвать финансовые убытки для владельцев.

Железобетонные здания с различными объемно-планировочными решениями [3] и сооружения на территории промышленных объектов находятся в агрессивных условиях, что делает их уязвимыми для разрушений [4, 5]. Ремонт таких конструкций требует значительных финансовых вложений, и в будущем эти расходы будут только увеличиваться. Поэтому очевидно, что в некоторых случаях экономически целесообразно инвестировать

больше средств в первоначальное строительство и надежную защиту, чтобы минимизировать частоту и стоимость будущих ремонтов. Особенно опасна коррозия арматуры в конструкциях, которые испытывают большие нагрузки. Независимо от класса используемого бетона, повреждение арматуры ведет к утрате прочности всей конструкции.

Для предотвращения коррозии и увеличения срока службы железобетона необходимо регулярно контролировать существующие трещины, выявлять новые дефекты и своевременно проводить мероприятия по защите конструкций от агрессивных воздействий. Применение современных сортов стали с разнообразными добавками позволяет использовать арматуру в различных областях строительства, например арматура Ан600С. В настоящее время в строительстве стали широко использоваться бетоны с ослабленными защитными характеристиками в отношении арматуры, такие как бесцементные, автоклавные, ячеистые и смеси на пористых заполнителях с увеличенной межзерновой пористостью. Угроза коррозии арматуры в конструкциях, подвергшихся предварительному натяжению, усиливается за счет наличия высоких внутренних напряжений, резкого уменьшения пластичности высокопрочной стали при коррозионных повреждениях, а также коррозионного растрескивания термически упрочненной арматуры.

Коррозия арматуры является серьезной угрозой для прочности бетонных конструкций. Чтобы снизить риск ее возникновения и гарантировать долговечность зданий, необходимо тщательно проектировать, подбирать качественные материалы и внедрять защитные технологии. Важно помнить, что защита арматуры от коррозии — это не только оправданные затраты, но и решающий аспект обеспечения безопасности. Проблема коррозии может привести к разрушению железобетонных сооружений и вызвать значительные финансовые потери. Для снижения риска коррозионных процессов необходимо учитывать факторы, способствующие их развитию, а также принимать меры для защиты от неблагоприятных условий и механических повреждений. Правильное проектирование, использование высококачественных материалов и реализация действенных защитных решений способны значительно уменьшить вероятность коррозии и продлить эксплуатационный срок строительных объектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Терехов, И. А. Критерии оценки технического состояния железобетонных плит при коррозии арматуры / И. А. Терехов // Строительство и реконструкция. – 2022. – № 6(104). – С. 128-139. – DOI 10.33979/2073-7416-2022-104-6-128-139. – EDN YGOOMW.

2. Критерии для оценки категории технического состояния железобетонных колонн, ригелей, балок и ферм / В. С. Федоров, Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 3(107). – С. 58-69. – DOI 10.33979/2073-7416-2023-107-3-58-69. – EDN ZTABZK.

3. Совершенствование объёмно-планировочных и конструктивных решений большепролетных многоэтажных зданий на примере гаражей-стоянок со стальным каркасом / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 3. – С. 103-107. – EDN ZIOFDT.

4. The improvement of protection methods from the progressive collapse of one-storey industrial buildings / N. N. Trekin, E. N. Kodysh, N. G. Kelasiev [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019, Moscow, 13–15 ноября 2019 года. Vol. 1425. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012050. – DOI 10.1088/1742-6596/1425/1/012050. – EDN PULCCK.

5. Нормирование в области демонтажа и утилизации конструкций зданий и сооружений / Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов, А. А. Кондратьев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2023. – № 8-2(83). – С. 156-160. – DOI 10.24412/2500-1000-2023-8-2-156-160. – EDN UZUFKY.

УДК 691.4
Никулина Екатерина Евгеньевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Nikulina Ekaterina Evgenievna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сысоев Евгений Олегович, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»
Sysoev Evgeny Olegovich, candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В СТРОИТЕЛЬСВТВЕ

USE OF COMPOSITE REINFORCEMENT IN CONSTRUCTION

Аннотация. Композитная арматура внесла значимый вклад в создание комфортных и безопасных зданий, а также заняли важное место в современном строительстве благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам и широкому спектру применения. В данной статье представлено определение композитной арматуре. Их области применения. Описываются как их преимущества, так и ограничения.
Abstract. Composite reinforcement has made a significant contribution to the creation of comfortable and safe buildings, and has also taken an important place in modern construction due to its unique physical and chemical properties and a wide range of applications. This article provides a definition of composite reinforcement. Their areas of application. Both their advantages and limitations are described.
Ключевые слова: композитная арматура, арматура, строительство, преимущества, ограничения
Key words: composite reinforcement, reinforcement, construction, advantages, limitations

В качестве современной альтернативы стальной арматуры выступает композитная, применяемая для армирования бетонных конструкций или укрепления многослойной кладки стен. В основе производсва используются стекловолокно, базальтоволокно и углеволокно [1-4], применяемые как самостоятельно, так и в комбинации.

Композитная арматура имеет множество областей применения:

1. Использование в армировании фундаментов, особенно в регионах с высоким уровнем грунтовых вод или агрессивной средой. Также применяется в армировании стен, подверженных значительным нагрузкам, и полов для промышленных и складских помещений, где важна высокая устойчивость к химическим воздействиям.
2. Использование в строительстве мостов, расположенных вблизи рек, озер или морей, в проектах с нестандартными нагрузками или требованиями, такими как сейсмоопысные районы.
3. Использование в строительстве дамб, причалов, инженерных конструкций, таких как шлюзы и каналы, в трубах и трубопроводах, которые транспортируют воду особенно в условиях высокой влажности и агрессивных сред.
4. Использование в строительстве гражданских и промышленных зданий. Композитная арматура может использоваться в монолитных железобетонных конструкциях, включая стены, плиты и балки, в производстве пустотных плит для жилых и коммерческих зданий, в промышленных объектах, таких как заводы, склады, где необходимо обеспечить устойчивость конструкций к химическим воздействиям и агрессивной среде. Композитная арматура имеет множеством преимуществ, которые делают ее все более популярной в строительной области. Одним из ключевых достоинств композитной арматуры является ее высокая стойкость к коррозии. В отличие от традиционной стальной арматуры, композитные материалы не подвержены ржавлению, что особенно актуально при строительстве в агрессивных средах, таких как прибрежные зоны, химические заводы и регионы с высокой влажностью. Это свойство значительно увеличивает срок службы конструкций. Эта арматура имеет прочность на разрыв примерно в 3 раза превышающую таковую у стальной ар-

матуры при одинаковом диаметре. Это позволит использовать более тонкие и легкие элементы, что уменьшит общий вес конструкции. Кроме того, композитная арматура в 5 раз легче своего стального аналога, что упрощает транспортировку, монтаж и укладку, а также снижает затраты на строительство. Композитная арматура обладает низкой теплопроводностью. Также стоит отметить, что данная арматура не подвержена термическому расширению, как сталь, что снижает риск появления трещин в бетоне, особенно в условиях значительных температурных колебаний. Температурный диапазон ее применения составляет от -70 °С до +100 °С. Так как композитная арматура является диэлектриком, она также радиопрозрачна и магнитоинертна, что делает ее идеальной для использования в конструкциях, подверженных электрическим и магнитным воздействиям. Использование композитных материалов может уменьшить общую массу конструкции, что, в свою очередь, позволит сократить количество необходимого бетона и других ресурсов, тем самым снижая негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, этот вид арматуры может быть переработан, что делает ее более экологически чистым выбором по сравнению с традиционными материалами. Несмотря на множества преимуществ, композитная арматура имеет так же и ограничения в применении, которые стоит учитывать при выборе в строительстве. Несмотря на легкость композитной арматуры, ее плотность обычно выше, чем у некоторых форм полимерных материалов, что может ограничить применение в конструкциях, где важна минимизация массы. Хотя композитная арматура обладает высокой прочностью на растяжение, её стойкость к сжатию и изгибу может быть ниже, чем у стальной арматуры в некоторых случаях. Это делает необходимым тщательное проектирование и расчет нагрузок. Некоторые виды композитной арматуры, особенно те, которые на основе стекловолокна, могут быть подвержены деградации под воздействием ультрафиолетового излучения, если не защищены должным образом. Это может ограничивать их использование в определенных условиях. Использование композитной арматуры в строительстве поможет решить множества проблем, связанных с надежностью и долговечностью конструкций. Несмотря на некоторые недостатки, преимущества композитов позволят уменьшить количество ограничивающих условий использования их и расширить сферы применения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. В.С. Руднов, Е.В. Владимирова, И.К. Доманская [и др.]; под общ. ред. И.К. Доманской. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 203 с

Рахматов М.У., Сысоев О.Е. Перспективное использование пластиковой арматуры / Рахматов М.У., Сысоев О.Е.// В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 138-142.

2. Добрышкин А.Ю., Сысоев О.Е., Сысоев Е.О. Экспериментальная проверка характеристик колебаний композитной цилиндрической тонкостенной оболочки с ребром жесткости /Добрышкин А.Ю., Сысоев О.Е., Сысоев Е.О.// Труды МАИ. 2024. № 134.

3. Добрышкин А.Ю., Сысоев О.Е., Сысоев Е.О. ЖЕлезобетонные конструкции с армированием углеволокном / Добрышкин А.Ю., Сысоев О.Е., Сысоев Е.О.// В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 130-132.

УДК 004.89

Овчаренко Вероника Александровна, студент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет

Ovcharenko Veronika Alexandrovna, student, Komsomolsk-na-Amur State University

Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Комсомольск-на-Амуре государственный университет

Sysoev Oleg Evgenevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УМНОГО ДОМА

NEW SMART HOME FEATURES

Аннотация. В данной статье рассматриваются новые возможности умного дома, обусловленные активным внедрением технологий искусственного интеллекта (ИИ) и голосовых помощников. Анализируется эволюция концепции умного дома от простой автоматизации к интеллектуальным системам, способным к самообучению и адаптации к потребностям жильцов. Особое внимание уделяется применению ИИ для оптимизации энергопотребления, повышения безопасности, персонализации пользовательского опыта и расширения функциональности умного дома. В заключение, обсуждаются перспективы дальнейшего развития умных домов на основе ИИ и голосовых технологий, прогнозируется их влияние на качество жизни и трансформация бытовых привычек.
Ключевые слова: новейшие технологии, искусственный интеллект, умный дом, голосовой помощник.
Abstract. This article examines the new possibilities of a smart home, driven by the active introduction of artificial intelligence (AI) technologies and voice assistants. The evolution of the smart home concept from simple automation to intelligent systems capable of self-learning and adaptation to the needs of residents is analyzed. Special attention is paid to the use of AI to optimize energy consumption, increase security, personalize user experience and expand the functionality of a smart home. In conclusion, the prospects for the further development of smart homes based on AI and voice technologies are discussed, their impact on the quality of life and the transformation of household habits is predicted.
Key words: latest technologies, artificial intelligence, smart home, voice assistant.

В умном доме ИИ играет решающую роль, трансформируя его из просто автоматизированного в интеллектуальный. Ключевые применения включают: оптимизация энергопотребления: ИИ анализирует привычки и внешние факторы (погода), чтобы автоматически регулировать освещение, отопление и кондиционирование, снижая энергозатраты [1]. Повышение безопасности: Распознавание лиц, обнаружение аномального поведения и автоматические уведомления о вторжениях обеспечивают более высокий уровень защиты, это то, что касается и входной группы, то есть умного домофона с камерой, так и происходящего в доме, то есть видеонаблюдения, что особенно кстати, если имеются несовершеннолетние дети или планируется отъезд. Персонализация пользовательского опыта: ИИ адаптирует настройки умного дома к индивидуальным предпочтениям, создавая персонализированные профили и предлагая релевантный контент [2]. Автоматизация рутинных задач: Автоматическая уборка, полив растений, управление кухонной техникой освобождают время и повышают комфорт. Обороты сейчас набирают голосовые помощники, на данный момент возможности голосовых ассистентов (таких как Alexa, Google Assistant, Siri а также российские Алиса и Маруся) в качестве основного способа взаимодействия с интеллектуальными системами дома. В ней анализируется, как голосовые команды позволяют пользователям интуитивно управлять различными устройствами (освещением, техникой, безопасностью), получать информацию и автоматизировать рутинные задачи без необходимости использования физических пультов или приложений. Рассматриваются особенности интеграции голосовых помощников с устройствами умного дома, в том числе специфика интеграции с устройствами и сервисами, адаптированными для российского рынка (например, управление сервисами Яндекса и VK), а также развитие навыков и сценариев, расширяющих функциональность голосового управления. Особое внимание уделяется локализованным функциям и возможностям, предоставляемым Алисой и Марусей, таким как управление умными колонками, воспроизведение музыки и подкастов с российских стриминговых сервисов, и интеграция с популярными российскими онлайн-сервисами. Глава подчеркивает удобство и доступность голосового управления, но также акцентирует внимание на потенциальных проблемах, связанных с конфиденциальностью и безопасностью, при использовании голосовых ассистентов в домашней среде, учитывая особенности законодательства и регулирования в области защиты данных в России [3].

Медиакомпанией Mindshare было проведено исследование на тему популярности голосовых технологий в России. Результаты исследования были опубликованы и выставлены в общий доступ, ниже представлена диаграмма осведомленности граждан о голосовых ассистентах, а также статистика частоты использования.



Как и у любой новой технологии существуют проблемы внедрения ИИ и голосовых помощников в умном доме, что приостанавливает распространённость их использования. Конфиденциальность данных - одна из основных проблем, поскольку системы умного дома собирают и обрабатывают большой объем личной информации, что создает риски утечек и злоупотреблений. Безопасность также вызывает опасения, так как уязвимости в системах могут быть использованы для кибератак и несанкционированного доступа. Доступность остается проблемой из-за высокой стоимости оборудования и сложностей в настройке и обслуживании, что ограничивает доступ к этим технологиям для широкой аудитории. Наконец, рассматриваются этические аспекты, связанные с влиянием ИИ на социальное взаимодействие и возможной зависимостью от технологий, ставя под вопрос баланс между удобством и автономией. Все эти факторы требуют внимательного анализа и разработки соответствующих решений для успешного и безопасного внедрения умных домов. Настоящее исследование продемонстрировало потенциал технологий искусственного интеллекта (ИИ) и голосовых помощников для трансформации концепции умного дома. Отмечается переход от простых систем автоматизации к интеллектуальным решениям, способным адаптироваться к потребностям пользователей, оптимизировать ресурсы и повышать уровень безопасности. Внедрение ИИ открывает новые горизонты для персонализации пользовательского опыта, автоматизации рутинных задач и создания комфортной и эффективной среды обитания [4].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. М. Чан, Д. Эстев, К. Эскриба и Э. Кампо, "Обзор интеллектуальных домов - современное состояние и будущие вызовы", Вычисл. Методы программ Биомед., том 91, стр. 55-81, июль 2008.

2. Э. Д. Мэнли, Х. А. Нахас и Дж. С. Деогун, "Локализация и отслеживание в сенсорных системах", Proc. IEEE Int. Conf. Сенсорная сеть. Вездесущий надежный компьютер., стр. 237-242, 2006.

3. Устелемова, М. С. Основы построения системы "умный дом” : курс лекций / М. С. Устелемова. - Москва : ИНТУИТ, 2016. - 38 с. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2150652 (дата обращения: 05.03.2025). – Режим доступа: по подписке.

4. "Умные города" как центры внедрения инновационных технологий : учебник для вузов / под общей редакцией С. Г. Еремина. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 301 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20630-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/569869 (дата обращения: 05.03.2025).

УДК 624.014.25
Овчаренко Вероника Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ovcharenko Veronika Alexandrovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University
Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sysoev Oleg Evgenevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВАНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

METHODS OF USING CABLE STRUCTURES IN CONSTRUCTION

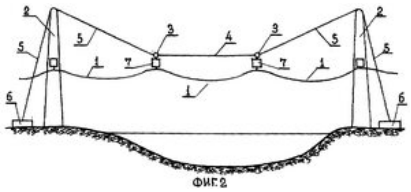
Аннотация. В данной статье рассматриваются различные способы применения вантовых конструкций в современном строительстве. Анализируются преимущества и недостатки использования вантовых систем для перекрытия больших пролетов, создания уникальных архитектурных форм и повышения устойчивости сооружений. Особое внимание уделяется примерам реализованных проектов и перспективам дальнейшего развития данной технологии.
Abstract. This article explores various applications of cable-stayed structures in modern construction. It analyzes the advantages and disadvantages of using cable-stayed systems for spanning large areas, creating unique architectural forms, and improving the structural stability of buildings. Particular attention is paid to examples of implemented projects and the prospects for further development of this technology.
Ключевые слова: вантовые конструкции, ванты, строительство, перекрытие больших пролетов.
Keywords: cable-stayed structures, cables, construction, long-span roofing.

В данной статье будут описаны способы и области применения вантовых конструкций в строительстве. Чтобы показать, как вантовые конструкции выглядят, будут использованы картины и схематичный вид вантовых конструкций, взятые из источников общего пользования. Вантовые конструкции – это сооружения, в которых для распределения нагрузки используются вантовые системы. В свою же очередь вантовые системы состоят из опорных элементов, таких как столбов или пирсов, и ванты, которые похожи на натянутые кабеля или же тросы [1-3]. Такой тип конструкций, в настоящий момент, действительно широко применяется в строительстве мостов, футбольных арен, опора для солнечных панелей, поддержка трубопроводов и др [3-5]. Вантовые конструкции имеют широкий спектр применения за счёт своей высокой пропускной способности, легкому весу и устойчивости к ветровым нагрузкам. Применение вантовых конструкций можно распределить на области:

Таблица 1 - Применение вантовых конструкций

Характеристика	**Изображение**
Мостостроение	
Благодаря своей формы ванты способны выдержать большие нагрузки и имеют устойчивость к деформации за счёт распределения нагрузки, также позволяют создавать большие пролётные конструкции без промежуточных опор.	

Продолжение таблицы 1

Характеристика	Изображение
Архитектура	
Ванты делают здания и сооружения более лёгкими, создавая ощущение воздушности и элегантности. За счёт своей позволяют архитекторам экспериментировать с формами и объёмами. Также упрощает планировку и улучшает функциональность помещений благодаря созданию пространств без внутренних опор.	
Здания	
Ванты позволяют создавать констукции с минимально необходимым количеством материалов, что делает здания легкими и изящными, изготовлены из устойчивых к коррозии материалов, что увеличивает срок службы зданий. Вантовые системы способны эффективно противостоять ветровым нагрузкам и сейсмическим воздействиям благодаря своей форме и конструкции	
Энергетика	
Из-за легкости, вантовые конструкции занимают меньше пространства, позволяя оптимально использовать территорию, могут эффективно справляться с изменяющимися нагрузками, что особенно важно для ветровых и солнечных электростанций.	 ФИГ.2
Спортивные сооружения	
Благодаря своей геометрии, вантовые конструкции могут выдерживать большие нагрузки, что особенно важно для крыш спортивных арен и стадионов, также вантовые конструкции используют меньше строительных материалов, что позволяет создать более легкие и эстетически привлекательные сооружения. Такие конструкции хорошо справляются с воздействием ветра и снеговых нагрузок, что позволяет использовать их в различных климатических зонах.	

Стоит отметить, что в энергетике вантовые конструкции способствуют к изобретению высоковольтных линий передач (таблица 1). Вантовый переход высоковольтной линии электропередачи включает провод, две конечные и промежуточные опоры, которые образуют вантовую систему с шарнирными соединениями. Оттяжки, перекинутые над крайними опорами и закрепленные в анкерных устройствах, поддерживают провод, который подвешивается в узлах этой системы. Такой переход позволяет преодолевать не только водные преграды, но и сложности горной местности. Основными преимущества являются повышенная несущая способность, упрощение строительства и сокращение сроков возведения линии.

В данной статье были рассмотрены виды вантовых конструкций, их применение и преимущество. Хочется отметить, что вантовые конструкции – выгодное и изящное решение для проектирования различных зданий и арен. В будущем, при усовершенствовании вантовых конструкций, можно будет сооружать большие и экономные здания, которые простоят долгие годы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сысоев О.Е., Добрышкин А.Ю., Сысоев Е.О. Критерии мониторинга предельных состояний конструкционных материалов при различных траекториях циклического нагружения по параметрам акустической эмиссии/ Сысоев О.Е., Добрышкин А.Ю., Сысоев Е.О.//Комсомольск-на-Амуре, 2022

2. Петров, С. Н. (2021). Современные методы контроля сварных соединений. Инженерные науки и технологии, 18(1), 34-40.

3. Мовшович М.М., Сысоев Е.О.К вопросу исследования аварийности на магистральных трубопроводах // Мовшович М.М., Сысоев Е.О. / В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 116-120.

4. Джумаев Ф.Б., Сысоев Е.О. Особенности расчета трубобетонных элементов / Джумаев Ф.Б., Сысоев Е.О.// В сборнике: МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 44-46.

5. Журавлева, Е. В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е. В. Журавлева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 203-206. – EDN TLFGIH.

УДК 624.04

Овчаренко Вероника Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Ovcharenko Veronika Alexandrovna, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Шильников Дмитрий Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Shilnikov Dmitry Evgenievich, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Сысоев Евгений Олегович, кандидат экономических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sysoev Evgeny Olegovich, PhD in Economics, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ «АВТОСАЛОНА»

ANALYSIS OF ENSURING SAFE WORKING CONDITIONS DURING THE DEVELOPMENT OF A PROJECT FOR THE CONSTRUCTION OF A CAR DEALERSHIP

Аннотация. В статье представлен анализ ключевых аспектов обеспечения безопасных условий труда при разработке проекта производства работ (ППР) для строительства автосалона. Рассмотрены основные требования нормативных документов, риски, характерные для строительных работ, а также мероприятия по их предотвращению. Проанализированы примеры практических решений, направленных на снижение производственного травма-

тизма и улучшение условий труда. Особое внимание уделено важности комплексного подхода к обеспечению безопасности, включающего организационные, технические и технологические мероприятия.

Abstract. The article presents an analysis of the key aspects of ensuring safe working conditions in the development of a work production project for the construction of a car dealership. The main requirements of regulatory documents, risks specific to construction work, as well as measures to prevent them are considered. Examples of practical solutions aimed at reducing occupational injuries and improving working conditions are analyzed. Special attention is paid to the importance of an integrated approach to security, including organizational, technical and technological measures.

Ключевые слова: безопасность труда, проект производства работ (ППР), строительные работы, охрана труда, производственный травматизм, риски, автосалон.

Keywords: occupational safety, work production project, construction work, occupational safety, occupational injuries, risks, car dealership.

Строительство является одним из наиболее опасных видов производственной деятельности. Высокий уровень травматизма обусловлен многими факторами, в том числе использованием тяжелой техники, работой на высоте, применением опасных материалов и недостатками в организации работ.

Эффективная система управления охраной труда (СУОТ) на строительной площадке является ключевым элементом для минимизации рисков и создания «эталона». Выбор объекта исследования обусловлен спецификой строительных работ, характерных для данного типа зданий, а также необходимостью учитывать особенности, связанные с наличием автотранспорта и обслуживающего персонала. Разработка ППР по охране труда осуществляется в соответствии с требованиями ряда нормативных документов, основными из которых являются:

Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ) [1]. Определяет общие требования к безопасности строительных объектов. СНиП 12-01-2004 «Организация строительства» [2]. Устанавливает основные правила организации строительного производства, включая требования к ППР. СП 48.13330.2019 «Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004». Содержит уточнения и дополнения к СНиП 12-01-2004 [3]. Приказ Минтруда России от 11.07.2014 N 467н «Об утверждении Правил по охране труда при строительстве, реконструкции, ремонте и сносе объектов капитального строительства». Устанавливает конкретные требования к обеспечению безопасности при выполнении строительных работ.

В ППР по охране труда должны быть отражены следующие основные положения:

- перечень опасных и вредных производственных факторов, характерных для выполняемых работ, и мероприятия по их устранению или снижению.
- мероприятия по обеспечению безопасности при выполнении работ на высоте.
- мероприятия по обеспечению безопасности при работе с грузоподъемными механизмами.
- мероприятия по обеспечению электробезопасности.
- мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.
- схема организации строительной площадки с указанием опасных зон, мест складирования материалов, проездов для транспорта и путей эвакуации.
- график выполнения работ с указанием последовательности операций и мероприятий по обеспечению безопасности.
- технологические карты на выполнение отдельных видов работ с описанием безопасных приёмов и методов труда.
- перечень средств индивидуальной защиты (сиз) для работников.
- инструкции по охране труда для конкретных профессий и видов работ.

Анализ рисков при строительстве «Автосалона» и меры по их предотвращению. Строительство автосалона включает в себя широкий спектр строительных работ, каждая из

которых сопряжена с определёнными рисками. Основными рисками, характерными для данного объекта, являются:

- падение работников с высоты. риск связан с выполнением работ на крыше, при монтаже фасадов, установке окон и дверей.

- травмы при работе с грузоподъемными механизмами. использование кранов, подъемников и другого оборудования для перемещения грузов.

- поражение электрическим током. работа с электроинструментом, подключение оборудования к электросети.

- травмы при работе с механизмами и оборудованием. использование станков, пил, сварочного оборудования и т.д.

- воздействие вредных веществ. работа с лакокрасочными материалами, клеями, растворителями и другими химическими веществами.

- пожарная опасность. сварочные работы, хранение горючих материалов.

- дорожно-транспортные происшествия на строительной площадке. движение строительной техники, автотранспорта.

- для предотвращения этих рисков в ппр должны быть предусмотрены следующие мероприятия:

Организационные мероприятия:

- разработка подробной схемы организации строительной площадки с указанием опасных зон, ограждений и знаков безопасности.

- назначение ответственных лиц за соблюдение требований охраны труда.

- проведение инструктажей и обучения работников по охране труда.

- разработка инструкций по охране труда для конкретных видов работ.

- организация контроля за соблюдением правил техники безопасности.

Технические мероприятия:

- использование лесов, подмостей и других средств подмащивания, соответствующих требованиям безопасности.

- ограждение опасных зон.

- обеспечение надежного электроснабжения и заземления.

- использование исправного инструмента и оборудования.

- использование средств индивидуальной защиты (каски, спецодежда, защитные очки, респираторы, перчатки и т. д.).

- технологические мероприятия:

- выбор безопасных методов выполнения работ.

- правильная организация рабочих мест.

- соблюдение технологических карт.

- контроль качества выполняемых работ.

- мероприятия по обеспечению пожарной безопасности:

- обеспечение строительной площадки первичными средствами пожаротушения.

- соблюдение правил хранения горючих материалов.

- организация контроля за проведением огневых работ.

Практические примеры и особенности обеспечения безопасности на строительстве автосалона. Строительство автосалона имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при разработке ППР. Например, наличие автотранспорта требует особого внимания к организации движения на строительной площадке, а также к безопасности при проведении погрузочно-разгрузочных работ.

Пример 1: Для обеспечения безопасности при работе на высоте необходимо использовать сертифицированные системы обеспечения безопасности (СОБ), включающие страховочные привязи, стропы, анкерные устройства и другие элементы.

Пример 2: При проведении сварочных работ необходимо обеспечить защиту от искр и брызг металла, используя защитные экраны, спецодежду и средства защиты глаз.

Пример 3: На строительной площадке автосалона необходимо организовать четкую схему движения автотранспорта, включая выделение безопасных проездов и зон для маневрирования.

Пример 4: При работе с электроинструментом необходимо регулярно проверять исправность оборудования, а также обеспечивать наличие защитного заземления.

Особенности ППР для автосалона:

- необходимость учёта специфики работы автосалона (наличие выставочных залов, ремонтных мастерских и т. д.).

- соблюдение требований пожарной безопасности, связанных с хранением и использованием горючих материалов (топливо, масла, смазки).

- обеспечение безопасности при проведении электромонтажных работ с учетом особенностей электрооборудования автосалона.

Эффективное обеспечение безопасности условий труда при строительстве автосалона является сложной и многогранной задачей, требующей комплексного подхода. Правильно составленный ППР, основанный на анализе рисков и учитывающий специфику строительных работ, является ключевым инструментом для предотвращения несчастных случаев.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/.

2 СНиП 12-01-2004. Организация строительства.–М.: Госстрой России, 2004.–31 с.

3 СП 48.13330.2019. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2019. – 152 с.

4 ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.

УДК 624.04

Овчаренко Вероника Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ovcharenko Veronika Alexandrovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Колоколов Вадим Витальевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kolokolov Vadim Vitalievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Яровенко Богдан Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Yarovenko Bogdan Dmitrievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сысоев Евгений Олегович, кандидат экономических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sysoev Evgeny Olegovich, PhD in Economics, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ «ЖИЛОГО 16-ЭТАЖНОГО ДОМА»

ANALYSIS OF ENSURING SAFE WORKING CONDITIONS DURING THE DEVELOPMENT OF A PROJECT FOR THE CONSTRUCTION OF A «RESIDENTIAL 16-STOREY BUILDING»

Аннотация. В статье проведен анализ ключевых аспектов обеспечения безопасных условий труда при разработке проекта производства работ (ППР) для строительства 16-этажного жилого дома. Рассмотрены основные требования нормативных документов в области охраны труда, специфические риски, возникающие при строительстве многоэтажных жилых зданий, и мероприятия по их снижению. Проанализированы методы и средства, используемые для

обеспечения безопасного выполнения строительных работ, уделено внимание организации безопасного доступа к рабочим местам, применению средств индивидуальной защиты (СИЗ) и контролю за соблюдением требований охраны труда. Представлены практические рекомендации по разработке эффективного ППР, способствующего минимизации производственного травматизма и созданию безопасных условий труда на строительной площадке.
Abstract. The article analyzes the key aspects of ensuring safe working conditions when developing a project for the construction of a 16-storey residential building. The main requirements of regulatory documents in the field of occupational safety, specific risks arising during the construction of multi-storey residential buildings, and measures to reduce them are considered. The methods and means used to ensure the safe performance of construction work are analyzed, attention is paid to the organization of safe access to workplaces, the use of personal protective equipment (PPE) and monitoring compliance with labor protection requirements. Practical recommendations on the development of an effective control system that helps minimize occupational injuries and create safe working conditions on the construction site are presented.
Ключевые слова: безопасность труда, проект производства работ (ППР), охрана труда, строительные работы, многоэтажное жилое строительство, риски, СИЗ, строительная площадка.
Keywords: labor safety, work production project, labor protection, construction work, multi-storey residential construction, risks, PPE, construction site.

Строительство жилых многоэтажных домов — сложный и трудоёмкий процесс. Выявление характерных рисков и разработка рекомендаций по их предотвращению. Актуальность темы обусловлена необходимостью снижения травматизма в строительной отрасли и повышения эффективности управления охраной труда.

Разработка ППР по охране труда осуществляется в соответствии с действующими нормативными правовыми актами, устанавливающими требования к организации и проведению строительных работ. Основными документами, регламентирующими вопросы охраны труда, являются:

- Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Определяет общие требования к безопасности строительных объектов, включая требования по обеспечению безопасности труда.

- СНиП 12-01-2004 «Организация строительства» (актуализированная редакция). Устанавливает основные правила организации строительного производства, включая требования к разработке ППР.

- СП 48.13330.2019 «Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004». Содержит уточнения и дополнения к СНиП 12-01-2004, конкретизирующие требования к организации строительной деятельности.

- Приказ Минтруда России от 11.12.2020 N 878н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте». Устанавливает требования к выполнению работ на высоте, которые являются ключевыми при строительстве многоэтажных зданий.

- Приказ Минтруда России от 11.07.2014 N 467н «Об утверждении Правил по охране труда при строительстве, реконструкции, ремонте и сносе объектов капитального строительства». Содержит общие требования по охране труда на строительных площадках, включая требования к безопасной эксплуатации строительных машин и механизмов.

- ГОСТ 12.0.004-2015 «Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения». Регламентирует порядок организации обучения и проверки знаний по охране труда [1-4].

ППР по охране труда должен содержать следующие основные разделы и положения:

- перечень опасных и вредных производственных факторов, характерных для выполняемых работ, и меры по их устранению или снижению (идентификация рисков).

- схема организации строительной площадки с указанием опасных зон, мест складирования материалов, проездов для транспорта и путей эвакуации.

- график выполнения работ с указанием последовательности операций и мер по обеспечению безопасности на каждом этапе.

- технологические карты на выполнение отдельных видов работ с описанием безопасных приёмов и методов труда.

- меры по обеспечению безопасности при работе на высоте (в соответствии с приказом минтруда россии n 878н).

- мероприятия по обеспечению электробезопасности, включая схемы электроснабжения строительной площадки.

- мероприятия по обеспечению пожарной безопасности, включая план эвакуации и порядок действий при пожаре.

- меры по обеспечению безопасности при работе с грузоподъемными механизмами, включая схемы строповки грузов.

- перечень сиз для работников, включая спецодежду, спецобувь, средства защиты головы, глаз, органов дыхания, слуха и от падения с высоты.

- инструкции по охране труда для конкретных профессий и видов работ.

- план мероприятий по контролю за соблюдением требований охраны труда.

Анализ рисков и меры по обеспечению безопасности при строительстве 16-этажного жилого дома сопряжено с высоким уровнем рисков, обусловленных, в частности, работой на высоте, использованием тяжелой техники, применением опасных материалов и интенсивным движением транспорта на строительной площадке. В ППР необходимо учитывать следующие основные риски:

- падение работников с высоты: наиболее распространенный и опасный риск при строительстве многоэтажных зданий. связан с работами на перекрытиях, лесах, подмостях, крыше и при монтаже фасадов.

- мероприятия по снижению риска: использование систем обеспечения безопасности (соб), ограждение опасных зон, установка защитных экранов, проведение инструктажей и обучения работе на высоте, обеспечение доступа к рабочим местам с использованием лестниц и подъемников, оборудованных системами безопасности.

падение предметов с высоты: потенциальная опасность для работников, находящихся на нижних этажах или на земле.

- мероприятия по снижению риска: ограждение опасных зон, установка защитных козырьков, надежное крепление материалов и инструментов, запрет на хранение материалов и инструментов на краю перекрытий.

- травмы при работе с грузоподъемными механизмами: опасность при использовании кранов, подъемников и другого оборудования.

- мероприятия по снижению риска: регулярное техническое обслуживание и освидетельствование грузоподъемных механизмов, обучение стропальщиков, обозначение опасных зон, соблюдение правил строповки грузов, установка знаков безопасности.

- поражение электрическим током: риск при работе с электроинструментом, подключении оборудования к электросети и выполнении электромонтажных работ.

- мероприятия по снижению риска: обеспечение исправности оборудования, ограждение опасных зон, применение защитных кожухов, обучение работе с оборудованием, использование сиз.

- воздействие вредных веществ: работа с лакокрасочными материалами, клеями, растворителями, цементом и другими химическими веществами.

- меры по снижению риска: обеспечение достаточной вентиляции, использование респираторов и других средств защиты органов дыхания, соблюдение санитарных норм, организация мест для хранения и утилизации отходов.

Организация и контроль за обеспечением безопасности труда на строительной площадке. Эффективное обеспечение безопасности труда на строительной площадке предполагает комплексный подход, включающий в себя следующие элементы:

- организация безопасного доступа к рабочим местам:

- обеспечение удобных и безопасных проходов к рабочим местам, исключающих падение с высоты.

- использование лестниц, подъёмников, лесов, подмостей, платформ и других средств подмащивания, соответствующих требованиям безопасности.

- регулярная проверка исправности и надежности этих средств.

- применение средств индивидуальной защиты (сиз):

- обеспечение работников сиз в соответствии с требованиями законодательства и характером выполняемых работ.

- проведение инструктажей по правильному использованию сиз.

- организация хранения и обслуживания сиз.

- обучение и инструктаж персонала:

- проведение вводного инструктажа, первичного инструктажа на рабочем месте, повторного, внепланового и целевого инструктажей.

- обучение работников безопасным методам и приёмам выполнения работ, а также оказанию первой помощи пострадавшим.

- контроль за соблюдением требований охраны труда:

- организация систематических проверок соблюдения требований охраны труда на строительной площадке.

- проведение производственного контроля.

- расследование несчастных случаев и принятие мер по их предотвращению.

- внедрение системы управления охраной труда (суот).

- взаимодействие с контролирующими органами:

- своевременное предоставление отчетности в контролирующие органы.

- устранение выявленных нарушений в установленные сроки.

Разработка качественного ППР по охране труда является ключевым фактором обеспечения безопасности при строительстве 16-этажного жилого дома. Проведенный анализ показывает, что обеспечение безопасных условий труда при возведении 16-этажного жилого дома требует систематизированного и научно обоснованного подхода к разработке проекта производства работ (ППР).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/.

2 СНиП 12-01-2004. Организация строительства. – М.: Госстрой России, 2004. – 31 с.

3 СП 48.13330.2019. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2019. – 152 с.

4 ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.

УДК 624.012.45.078

Пильков Александр Павлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pilkov Alexander Pavlovich, Bachelor's degree, Komsomolsk-na-Amure State University

Журавлева Екатерина Викторовна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zhuravleva Ekaterina Viktorovna, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

ВИДЫ И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОСТРУКЦИЯХ

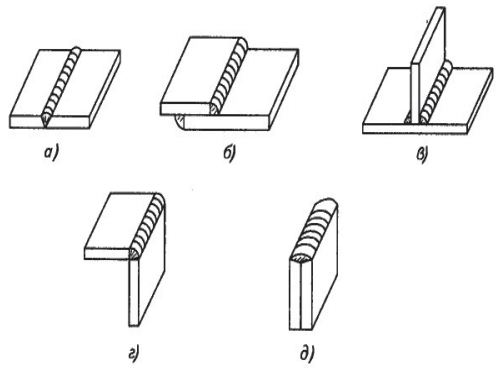
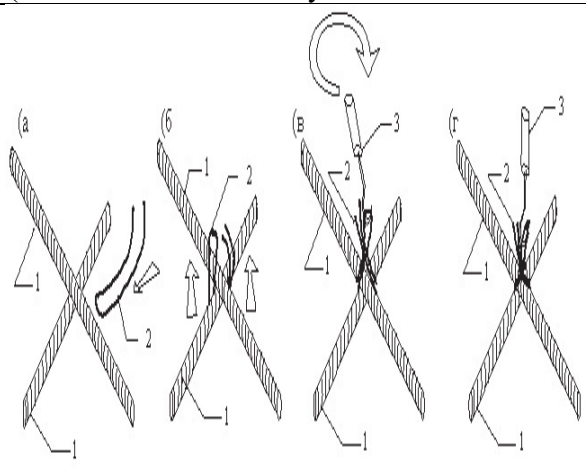
TYPES AND PROPERTIES OF STEEL REINFORCEMENT JOINTS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Аннотация. В данной статье рассмотрены виды соединения стальных арматур: сварные соединения, вязанные соединения, механические соединения. Отмечается свойство соединений стальной арматуры. Приведены примеры способа соединений.
Abstract.This article discusses the types of steel reinforcement joints: welded joints, knitted joints, mechanical joints. The property of steel reinforcement joints is noted. Examples of the connection method are given.
Ключевые слова: виды соединений, свойство соединений стальной арматуры, способ соединения.
Keywords: types of joints, properties of steel reinforcement joints, connection method.

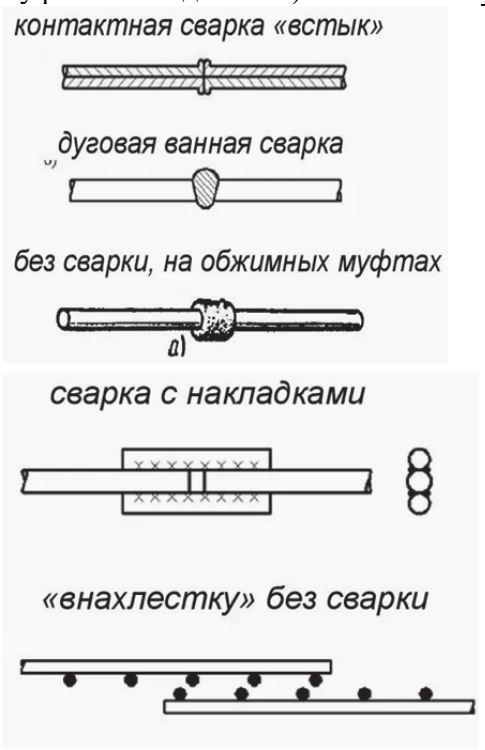
Железобетонные конструкции являются основой современного строительства, обеспечивая прочность и долговечность зданий и сооружений. Ключевым элементом этих конструкций является арматурный каркас, который воспринимает растягивающие усилия. Соединение отдельных арматурных стержней — это критически важный этап, так как от качества этих соединений зависит прочность всей конструкции. В данной работе рассмотрены наиболее распространенные виды соединений стальной арматуры: сварные, вязанные и механические соединения [1-4].

Основные виды соединений стальной арматуры рассмотрены в таблице 1.

Таблица 1 – Виды соединения стальной арматуры

<table>
<tr><td colspan="2">Сварные соединения:</td></tr>
<tr><td>1.1) Стыковые сварные соединения: Используются для соединения арматурных стержней встык, обеспечивая прямую передачу усилий. Важно обеспечить качественный провар по всей окружности стержня.
1.2) Нахлёсточные сварные соединения: Стержни соединяются внахлёст, и в месте нахлёста свариваются. Менее прочные, чем стыковые, но проще в исполнении.
1.3) Крестообразные сварные соединения: Применяются для соединения арматурных стержней, пересекающихся под углом.
1.4) Тавровые сварные соединения: Используются для приварки арматурных стержней к закладным деталям или другим элементам.</td><td> 
Типы сварных соединений:
а — стыковое; б — нахлесточное; в — тавровое; г — угловое; д — торцевое</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вязаные соединения (соединения внахлёстку</td></tr>
<tr><td>2.1) Стержни соединяются внахлёст, и в месте нахлёста скрепляются вязальной проволокой. Это самый простой и распространенный способ, но не обеспечивает полной передачи усилий, особенно при высоких нагрузках. Длина нахлёстки и количество вязок определяются расчетом.
2.2) Соединения с применением механических соединителей (клипсы, скобы и т.п.): Альтернатива вязальной проволоке, обеспечивают более надежное соединение.</td><td>  </td></tr>
</table>

Продолжение таблицы 1

Механические соединения (муфтовые соединения):	
3.1) Резьбовые муфты: на концы стержней нарезается резьба, и они соединяются муфтой с внутренней резьбой. Обеспечивают высокую прочность соединения и полную передачу усилий. 3.2) Опрессованные муфты: концы стержней вставляются в муфту, которая затем опрессовывается (обжимается) специальным оборудованием. Создается надежное механическое соединение за счет сил трения. 3.3) Зажимные муфты (цанговые муфты): концы стержней фиксируются в муфте с помощью зажимных элементов (цанг). Обеспечивают быстрое и надежное соединение. 3.4) Конусные муфты: стержни вставляются в конусную муфту, которая обеспечивает самозаклинивающееся соединение под нагрузкой.	

Основными свойствами соединений стальной арматуры являются:

1) Прочность: соединение должно выдерживать расчетные нагрузки (растяжение, сжатие, сдвиг без разрушения.

2) Деформация: соединение должно обладать достаточной деформационностью, чтобы компенсировать температурные деформации и другие факторы.

3) Надежность: соединение должно сохранять свои прочностные характеристики в течение всего срока службы конструкции.

4) Долговечность: соединение должно быть устойчивым к коррозии и другим воздействиям окружающей среды.

5) Технологичность: соединение должно быть простым и удобным в исполнении, чтобы обеспечить высокую производительность работ.

6) Экономичность: соединение должно быть экономически целесообразным с учетом стоимости материалов, оборудования и трудозатрат.

Таблица 2 – Выбор способа соединения

Тип арматуры	Для гладкой арматуры предпочтительнее вязаные или сварные соединения, для арматуры периодического профиля – муфтовые или сварные.
Диаметр арматуры	Для арматуры большого диаметра (более 32 мм) сварка или муфтовые соединения являются более предпочтительными
Класс бетона	Чем выше класс бетона, тем более прочные соединения требуются.
Расчетные нагрузки	При высоких нагрузках необходимо использовать соединения, обеспечивающие полную передачу усилий (муфтовые, сварные).

Продолжение таблицы 2

Условия эксплуатации	В агрессивных средах необходимо использовать соединения, устойчивые к коррозии.
Требования проекта	Проектная документация содержит указания по способу соединения арматуры.
Наличие необходимого оборудования и квалифицированного персонала	Для выполнения сварных и муфтовых соединений требуется специальное оборудование и квалифицированные сварщики или монтажники.

Свойства соединений стальной арматуры регламентируются различными нормативными документами:

ГОСТ 14098-2014 “Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры.”

СП 63.13330.2018 “Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Выбор типа соединения арматуры — это ответственное решение, которое требует учета множества факторов. Неправильный выбор или некачественное выполнение соединений может привести к снижению прочности и долговечности железобетонных конструкций. Поэтому важно придерживаться установленных норм и правил, а также учитывать рекомендации производителей материалов и оборудования. Правильный подход к выбору и исполнению соединений обеспечит надежность и безопасность объектов строительства на долгие годы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Журавлева, Е. В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е. В. Журавлева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 203-206. – EDN TLFGIH.

2. Dzyuba, V. A. Application of a Nonlinear Deformation Model to the Analysis of Complete Moment-Curvature Diagrams of Reinforced Concrete Elements with Reinforcement A500 / V. A. Dzyuba, E. V. Zhuravleva, A. S. Starkova // Materials Science Forum. – 2023. – Vol. 1087. – P. 169-175. – DOI 10.4028/p-w7h770. – EDN UIPFHM.

3.Влияние армирования карбоновых тонкостенных разомкнутых цилиндрических оболочек на свободные колебания / С. В. Серегин, А. Ю. Добрышкин, Е. О. Сысоев, Е. В. Журавлева // Труды МАИ. – 2022. – № 123. – DOI 10.34759/trd-2022-123-03. – EDN WRGSLW.

4. Дзюба, В. А. Влияние пластических свойств арматуры класса А500С на деформированное состояние железобетонных конструкций / В. А. Дзюба, Е. В. Журавлева // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 16–18 декабря 2019 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – С. 137-142. – EDN QTIXNX.

УДК 692.23

Пономарёва Алина Сергеевна, студент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет

Ponomareva Alina Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amur State University

Журавлева Екатерина Викторовна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ekaterina Viktorovna Zhuravleva, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amur State University

СТЕНЫ: ОГРАЖДАЮЩИЕ И НЕСУЩИЕ − МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ, ФУНКЦИИ

ENCLOSING AND LOAD-BEARING - MATERIALS, STRUCTURES, FUNCTIONS

Аннотация. Данная статья посвящена анализу стен, их классификации на ограждающие и несущие, а также рассмотрению материалов, конструкций и функций, связанных с этими элементами строительной архитектуры. Обсуждаются различные типы стен, их роль в обеспечении безопасности и комфорта, а также влияние на общую устойчивость зданий. В статье также рассматриваются современные технологии и материалы, используемые при строительстве стен, а также их функциональные особенности в контексте современного строительства.
Ключевые слова: стены, ограждающие стены, несущие стены, материалы, конструкции, функции.
Abstract. This article is dedicated to the analysis of walls, their classification into enclosing and load-bearing types, as well as the examination of materials, structures, and functions associated with these elements of architectural construction. Various types of walls are discussed, along with their role in ensuring safety and comfort, as well as their impact on the overall stability of buildings. The article also explores modern technologies and materials used in wall construction, as well as their functional characteristics in the context of contemporary building practices.
Keywords: walls, enclosing walls, load-bearing walls, materials, structures, functions.

Стены играют самую значимую роль в архитектуре и строительстве, выполняя функции ограждения и несущих элементов зданий. Они защищают от внешних климатических воздействий и создают комфортные условия для жизни и работы. В зависимости от назначения и требований к тепло- и звукоизоляции, стены могут быть изготовлены из различных строительных материалов, каждый из которых имеет свои уникальные свойства, достоинства и недостатки [1,2]. Ограждающие стены играют важную роль в защите внутренних помещений от неблагоприятных климатических условий, таких как ветер, дождь и холод. Они создают комфортные условия для проживания и работы, а их конструкция и материалы могут варьироваться в зависимости от специфических требований к тепло- и звукоизоляции. Каждый материал, используемый для возведения ограждающих стен, обладает своими достоинствами и недостатками. Чаще служат кирпич, бетон, дерево. Кирпичные стены считаются одними из наиболее традиционных решений в строительстве. Их высокая прочность и долговечность делают их соответствующими для различных климатических условий. Современные кирпичные блоки, такие как керамические и силикатные, обеспечивают хорошие теплоизоляционные характеристики, что является важным аспектом для достижения комфортного внутреннего климата. Бетонные стены в свою очередь, предоставляют архитекторам возможность осуществления более сложных и эстетически привлекательных конструкций. Бетон может использоваться как в монолитных, так и в сборных зданиях, что позволяет снизить сроки строительства и оптимизировать затраты. Применение облегченного бетона также снижает нагрузку на фундамент, что является существенным преимуществом. Деревянные стены становятся все более популярными благодаря своей экологичности, эстетической привлекательности и отличным теплоизоляционным свойствам. В условиях, когда требования к устойчивости и минимизации углеродного следа растут, использование древесины становится не только практичным, но и актуальным выбором. Новые методы обработки древесины, такие как применение антисептиков и огнезащитных составов, значительно повышают её стойкость к внешним воздействиям и защищают от гниения и повреждений. Деревянные конструкции могут быть гибридны с другими материалами, такими как стекло или металл, что открывает возможность для создания неповторимых эстетических решений. Несущие стены представляют собой основу здания, играя важную роль в его устойчивости и прочности. Эти стены должны выдерживать значительные нагрузки и обеспечивать целостность конструкции. Кирпичные и бетонные несущие стены широко используются в современных зданиях, так как они способны

поддерживать большие нагрузки. Применение арматуры и систем предварительного напряжения в бетонных стенах позволяет достичь огромной прочности, что особенно важно в сейсмоопасных районах [3,4]. Легкобетонные блоки значительно повышают общую энергоэффективность зданий. Эти блоки обладают хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами, что делает их идеальными для современных условий эксплуатации. Композитные материалы становятся всё более трендовыми в строительстве благодаря своему уникальному сочетанию легкости и прочности. Они позволяют создавать легкие конструкции, что снижает нагрузку на фундамент и ускоряет процесс строительства. Применение композитов нацелено на создание зданий с высокой степенью энергоэффективности, что позволяет значительно сократить теплопотери и улучшить акустические свойства. Функции стен выходят за рамки простого ограждения и включают в себя несколько ключевых ролей. Во-первых, стены обеспечивают тепло- и звукоизоляцию, что особенно важно в городской среде. Правильный выбор материалов для стен может повлиять на энергозатраты здания, снижая их более чем на 30%. Во-вторых, современные строительные нормы требуют от стен наличия огнеупорных свойств. Железобетонные конструкции, как правило, обладают высокими показателями огнестойкости, что делает их предпочтительными для многоэтажных зданий и общественных учреждений.

Эстетические функции стен также имеют большое значение. Архитекторы могут экспериментировать с текстурами, цветами и формами, создавая неповторимый внешний вид зданий. К тому же, стены могут быть использованы для организации внутреннего пространства, разделяя его на отдельные зоны. Это позволяет гибко подстраивать помещения в соответствии с потребностями пользователей, что является важным аспектом современного строительства. Проведенный анализ стен как ограждающих и несущих конструкций подчеркивает их значимость и функциональное разнообразие в современном строительстве. Материалы, технологии проектирования и исполнения этих конструкций играют ключевую роль в архитектуре, формируя её эстетические, функциональные и экологические качества. Современные тренды показывают, что устойчивое и энергоэффективное строительство становится основой для будущих разработок. Инвестиции в научные исследования и практические разработки обеспечивают внедрение эффективных и устойчивых решений в строительстве, отвечающих требованиям современного общества. Как отмечает архитектор Ричард Роджерс, "архитектура должна быть не только функциональной, но и вдохновляющей", и стены играют в этом важную роль, формируя пространство, в котором мы живем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Молочко, В. А. Материалы для строительства и их применение // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2021. – № 4. – С. 45-54. – DOI: 10.24411/2499-7696-2021-10004.

2. Федосеев, И. И. Новые технологии в строительстве: от теории к практике // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2022. – Т. 27. – № 6. – С. 215-222. – DOI: 10.18720/6101-2022-6-215-222.

3 Расчет армирования плиты монолитного безбалочного перекрытия / П. А. Беркунов, Р. А. Павлоцкий, В. А. Дзюба // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 12-15. – DOI 10.17084/978-5-7765-1485-2-2023-12. – EDN ZJEWZA.

4 О возможностях пустотных монолитных перекрытий / Я. Ху, О. Е. Сысоев, И. В. Погорельских // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 176-179. – EDN CVFRFE.

5 Эффективные тонкостенные железобетонные оболочки переменной жесткости / Е. В. Журавлева, В. А. Дзюба // Региональные аспекты развития науки и образования в обла-

сти архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 206-208. – EDN GIMMLB.

УДК 528.4
Рубашова Виктория Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Rubashova Victoria Andreevna, student, Komsomolsk-na-Amur State University
Бедина Полина Викторовна студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bedina Polina Viktorovna student, Komsomolsk-na-Amur State University
Козлович Вячеслав Дмитриевич студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kozlovich Viacheslav Dmitrievich student, Komsomolsk-na-Amur State University
Катунцева Наталья Леонидовна, Руководитель отделения, Старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Katuntseva Natalia Leonidovna, Head of the Department, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amur State University.

ТЕОДОЛИЧЕСКАЯ СЬЕМКА И ФИКСИРОВАНИЕ ВЕРТЕКАЛЬНЫХ ОПОР МЕСТНОСТИ

THEODOLITE SURVEY AND FIXATION OF VERTICAL SUPPORTS OF THE TERRAIN.

Аннотация. Предварительная геодезическая съемка является важным этапом подготовки к строительству, который гарантирует точность и безопасность всех последующих работ. Этот процесс актуален, так как позволяет получить надежные данные о рельефе местности, существующих сооружениях и инженерных коммуникациях, что в свою очередь помогает снизить риски ошибок и неожиданных ситуаций на строительной площадке. Геодезическая съемка позволяет определить границы земельного участка, выявить потенциальные проблемы с дренажом и устойчивостью грунтов, а также оценить влияние соседних построек на проектируемый объект. Кроме того, качественные геодезические данные способствуют оптимизации проектных решений, снижению строительных затрат и обеспечению соответствия проектной документации действующим нормам и требованиям. Таким образом, предварительная геодезическая съемка является ключевым инструментом для успешной реализации строительных проектов, повышая их эффективность и безопасность.
Annotation. Preliminary geodetic survey is an important stage of preparation for construction, which guarantees the accuracy and safety of all subsequent work. This process is relevant because it allows you to obtain reliable data on the terrain, existing structures and utilities, which in turn helps to reduce the risks of errors and unexpected situations on the construction site. Geodetic survey makes it possible to determine the boundaries of the land plot, identify potential problems with drainage and soil stability, as well as assess the impact of neighboring buildings on the projected facility. In addition, high-quality geodetic data helps optimize design solutions, reduce construction costs, and ensure compliance of design documentation with current standards and requirements. Thus, preliminary geodetic survey is a key tool for the successful implementation of construction projects, increasing their efficiency and safety.
Ключевые слова: Геодезическая съемка, Строительство, Безопасность, Тахеометрическая съемка, Нивелирование. Проектная документация, Рельеф местности, Инженерные коммуникации, Nano-cad, Кирпичные конструкции.
Key words: Geodetic survey, Construction, Safety, Tacheometric survey, Leveling, Project documentation, Terrain relief, Engineering utilities, Nano-cad, Brick structures.

Здесь Стремительный рост жилищного строительства обусловлен увеличением численности городского населения. Согласно последним переписям, население городов постоянно растет. Это, в свою очередь, создает потребность в увеличении объемов строительства жилья. Увеличение числа жилых зданий требует создания качественных, надежных, прочных и экономически выгодных объектов. Экономичность зданий во многом зависит от используемых материалов и конструкций. В нашем проекте предусмотрены многопустотные железобетонные плиты, выполненные с предварительным напряжением, что значительно повышает их жесткость и трещиностойкость. Применение предварительно напряженной арматуры позволяет добиться значительной экономии, что снижает затраты на конструкции перекрытий [1-3]. Несущие стены здания изготовлены из кирпича. Это решение обусловлено тем, что кирпичные здания, как правило, имеют длительный срок службы и создают комфортные условия для проживания. Популярность кирпича объясняется его многовековой проверкой на прочность. Строительство дома – это серьезная задача, требующая тщательного подхода и знаний. Нельзя экономить на строительных материалах, и идеальным выбором будет именно кирпич.

Дома из кирпича обладают рядом положительных характеристик, что и объясняет их популярность: высокая устойчивость конструкции к внешним воздействиям, морозостойкость, способность поддерживать естественный уровень влажности в помещениях, экологичность и отсутствие вреда для здоровья, а также длительный срок эксплуатации [4-7].

Перенос проектной отметки точки на местности с помощью геометрического нивелирования. После того как точка С была перенесена на местность, необходимо установить ее проектное положение по высоте, то есть перенести на местность ее проектную отметку Нс = 19,850 м (см. рисунок 2). Для этого вблизи точки С должен находиться репер (или точка) с известной отметкой Нв = 20,000 м.

Нивелир устанавливают на равном расстоянии от точек В и С. На реперe устанавливают рейку и снимают отсчет b = 0,990 м. Затем вычисляют горизонт инструмента: ГИ = Нв + b.

ГИ = 20,000 + 0,990 = 20,990 м.

Горизонт инструмента переносится на кол (рейку), установленный на определяемой точке С (точка М). Проектная отметка точки Нс = ГИ - е будет определена откладыванием по колу отрезка е = ГИ - Нс.

е = 20,990 – 19,850 = 1,140 м (отсчет по рейке). Поскольку проектная отметка находится выше уровня земли (насыпь), кол забивается так, чтобы его верхняя часть совпадала с проектной отметкой. Точность переноса отметки с помощью данного метода составляет примерно 3-5 мм

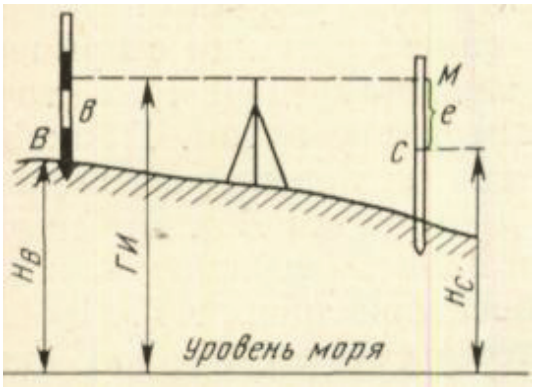


Рисунок 2 – Схема вынесения проектной отметки
на строительную площадку

Проведение абриса и фиксация размеров с использованием рулетки

Абрис в процессе съемки и измерений представляет собой схематический план, выполненный вручную, на котором отображаются данные полевых измерений, необходимые для создания точного плана или профиля. На абрисе указываются все точки съемки с соблюдением порядка и взаимного расположения контуров местности относительно друг друга и опорных линий. Для каждой стороны теодолитного хода и снятой ситуации составляется отдель-

ный абрис. Он выполняется аккуратно и четко, с записью всех угловых и линейных измерений, полученных в ходе съемки. В отличие от абрисов, используемых при теодолитной съемке, в тахеометрической съемке размеры на абрисе не указываются (для ускорения работы), но обязательно проставляются номера съемочных и реечных точек. Все результаты измерений, касающиеся планово-высотного положения съемочных точек, фиксируются в специальном полевом журнале — журнале тахеометрической съемки. При заполнении тахеометрического журнала номера съемочных точек обозначаются римскими цифрами, а реечные точки — арабскими цифрами. При этом как в журнале, так и на абрисе съемочные и реечные точки имеют одинаковые номера, что позволяет ограничиться на абрисе только нумерацией и расположением точек без дополнительных цифровых характеристик. Если общее количество реечных точек меньше 1000, их нумерация осуществляется сквозным образом для всей съемки, чтобы избежать путаницы при камеральной обработке. Если количество точек превышает 1000, каждую последующую тысячу нумеруют заново, начиная с единицы.



Рисунок 3 – абрис объекта



Рисунок 4 – карта объекта

Проведение предварительной геодезической съемки представляет собой ключевой этап подготовки к строительству, который обеспечивает точность и безопасность всех последующих работ. Этот процесс позволяет собрать надежные данные о рельефе местности, существующих зданиях и инженерных сетях, что помогает минимизировать риски ошибок и неожиданных ситуаций на строительной площадке. Геодезическая съемка также способствует оптимизации проектных решений, снижению расходов и обеспечению соответствия проектной документации действующим нормам и стандартам. Соблюдение правил безопасности при выполнении геодезических работ, использование современных технологий, таких как Nano-cad, а также качественных строительных материалов, таких как кирпич и предварительно напряженные железобетонные плиты, имеют решающее значение для создания надежных и экономически эффективных объектов. Эти меры не только повышают эффективность строительных проектов, но и обеспечивают их долговечность и безопасность.

Таким образом, предварительная геодезическая съемка и строгое соблюдение технологических и организационных требований являются важными компонентами успешной реализации строительных проектов, способствуя их устойчивому развитию и соответствию современным стандартам качества.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1.Маслов, А.В. Геодезия /А.В. Маслов, А.В. Гордеев, Ю.Г. Батраков. - М.: Недра,1993.

2. Кулешов, Д. А.. «Инженерная геодезия» : учеб / Д. А. Кулешов, Г. Е. Стрельников. М.: Недра, 1990. – 322 с.

3. Неумывакин, Ю.К. Практикум по геодезии : учеб. для вузов / Ю.К. Неумывакин. – М.: КолосС, 2008. – 318 с.

4. «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000; 1:2000; 1:1000 и 1:500», - М.: Недра, 1989. - 285 с.

5. «Инструкции по нивелированию I, II, Ш, IV классов» .- М. : Недра, 1974. - 160 с.

6. «Руководство по топографической съёмке М 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500».—М. : Недра, 1976. - 208 с.

7. Методические указания к полевой геодезической практике при под- готовке бакалавров по направлению 120700 – «Землеустройство и кадастры» /Сост.: Н.И. Насонова – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», 2012. - 43 с.

УДК 528.4

Рубашова Виктория Андреевна студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Rubashova Victoria Andreevna student, Komsomolsk-na-Amur State University
Бедина Полина Викторовна студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Bedina Polina Viktorovna student, Komsomolsk-na-Amur State University
Козлович Вячеслав Дмитриевич студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Kozlovich Viacheslav Dmitrievich student, Komsomolsk-na-Amur State University
Катунцева Наталья Леонидовна, Руководитель отделения, Старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Katuntseva Natalia Leonidovna, Head of the Department, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amur State University.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ

THE APPLICATION OF EFFICIENT REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN DESIGN.

Анотация. С учетом быстрого увеличения числа городского населения растет необходимость в строительстве качественного и доступного жилья. Увеличение количества жилых зданий требует использования надежных и прочных материалов и конструкций. В данном проекте применяются многопустотные железобетонные плиты с предварительным напряжением, что значительно улучшает их жесткость и устойчивость к трещинам, а также позволяет сократить затраты на перекрытия. Несущие стены здания выполнены из кирпича, что связано с его долговечностью и комфортом, который он обеспечивает. Кирпич, прошедший испытание временем на прочность, является отличным выбором для строительства благодаря своей устойчивости к внешним воздействиям, морозостойкости, способности поддерживать естественный уровень влажности и экологической безопасности. Эти харак-

теристики делают его популярным и предпочтительным вариантом для современных застройщиков.

Annotation. Considering the rapid increase in urban population, there is a growing need for the construction of quality and affordable housing. The rise in the number of residential buildings necessitates the use of reliable and durable materials and structures. In this project, hollow core precast concrete slabs are utilized, which significantly enhance their stiffness and crack resistance, as well as reduce costs for flooring. The load-bearing walls of the building are made of brick, which is associated with its durability and the comfort it provides. Brick, having stood the test of time for strength, is an excellent choice for construction due to its resistance to external influences, frost resistance, ability to maintain natural humidity levels, and environmental safety. These characteristics make it a popular and preferred option for modern developers.

Ключевые слова: Железобетонные конструкции, Многопустотные плиты, Предварительное напряжение, Кирпичные стены, Долговечность, Экономическая эффективность, Прочность и жесткость, Современное строительство.

Key words: Reinforced concrete structures, Hollow core slabs, Prestressing, Brick walls, Durability, Economic efficiency, Strength and stiffness, Modern construction.

Преимущества железобетонных конструкций.

Железобетон сочетает в себе прочность бетона на сжатие и пластичность стальной арматуры, что делает его идеальным материалом для перекрытий, колонн и фундаментов. Особое место занимают многопустотные плиты с предварительным напряжением, которые обладают рядом преимуществ:

Высокая жесткость – благодаря предварительному напряжению арматуры плиты лучше сопротивляются прогибам.

Трещиностойкость – уменьшение вероятности образования трещин при нагрузках.

Экономия материала – пустоты снижают вес плиты без потери прочности, что уменьшает нагрузку на фундамент и стены.

Ускорение строительства – заводское изготовление плит сокращает сроки монтажа.

Эти качества делают многопустотные плиты оптимальным решением для перекрытий в жилых и общественных зданиях [1-3].

Теплотехнический расчёт ограждающей конструкции.

Расчет стены

Расчет производится по СНиПу геофизика и климатология.

Город: Комсомольск-на-Амуре

1. Требуемое сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции:

$$R_0^{mp} = \frac{n \cdot (t_в - t_n)}{\Delta t^H \cdot \alpha_в} ;$$

n - коэффициент ограждающей конструкции, наружные стены и покрытия: n = 1;

$t_В$ - температура внутреннего воздуха, для гражданских зданий $t_В$ = +20 °С;

$t_Н$ - температура наружного воздуха, $t_Н$ = -35 °С;

Δt^H - нормативный температурный перепад (табл. 2*), Δt^H = 4 °С;

$\alpha_В$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции (табл. 4*), $\alpha_В$ = 8,7.

$$R_0^{mp} = \frac{1(20-(-35))}{4 \cdot 8{,}7} = 1{,}58 .$$

2. Градуса – сутки отопительного периода: ГСОП = $(t_В - t_{от.пер.}) \cdot Z_{от.пер.}$

$t_В$ - температура внутреннего воздуха, для гражданских зданий $t_В$ = +20 °С;

$t_{от.пер}$ - температура отопительного периода, $t_{от.пер}$ = - 18 °С;

$Z_{от.пер.}$ - продолжительность суток перепада со среднесуточной температурой,

$Z_{от.пер.}$ = 193.

ГСОП = (20+18) · 193 = 7331°С * сут

3. Приведенное сопротивление (табл. 1 Б):

$R_o^{пр} = 3,5 + \frac{4,2 - 3,5}{8000 - 6000} \cdot (7331 - 6000) = 2,325$

4. Толщина теплоизоляционного слоя:

σ_1 – (внутренний слой) керамзитобетон, $\sigma_1 = 100$ мм, $\lambda_1 = 0,80$;

σ_2 – (наружный слой) керамзитобетон,$\sigma_2 = 80$ мм, $\lambda_2 = 0,80$;

σ_x – пенополистирол, $\sigma_x = x$, $\lambda_3 = 0,05$.

$\sigma_x = (R_o^{пр} - 1/\alpha_B - \sigma_1/\lambda_1 - \sigma_2/\lambda_2 - 1/\alpha_H) \cdot \lambda_2$

α_H - коэффициент теплоотдачи (табл. 6*), $\alpha_H = 23$.

$\sigma_x = (2,325 - 1/8,7 - 0,100/0,99 - 0,80/0,99 - 1/23) \cdot 0,046 = 0,164$

5. σ общая: $\sigma = \sigma_1 + \sigma_x + \sigma_2$; $\sigma = 0,100 + 0,164 + 0,080 = 0,344$

По нормативам принимаем толщину панелей $\sigma_{пан} = 350$ мм, тогда

толщина утеплителя: $\sigma_x = \sigma_{пан} - \sigma_1 + \sigma_2$; $\sigma_x = 0,350 - 0,100 - 0,80 = 0,170$ мм**.**

Определение размеров подошвы фундамента

$R_0 = 200$ кПА

$N = 216.772$ кН/м^2

Основное условие надёжности:

$N \le F * R_0 = 216.772 \le 1.08386 * 200 = 216.772$

$F = N : R_0 = 216.772 : 200 = 1.08386$ m^2

Назначение размера ленточного фундамента:

1,2 m

Объемно – планировочное решение – это решение, на основе которого принимается тот или иной состав и размеры помещений. Здание имеет восьмиугольную форму.

В запроектированном доме технического творчества план первого этажа, согласно заданию, состоит из 9 помещений; гардеробная, холл, кабинет директора, комната преподавателей, туалет, кладовая, двух столярный мастерских и атомотакласс.

Вход в дом осуществляется с внутреннего фасада здания, вход имеет входную площадку, предусмотрен пандус и 4-ех ступенчатая лестница. Так же предусмотрен внутренний тамбур для исключения продувания.

Запроектировано:

- высота 1-го этажа — 3 м;
- высота всего здания — 7,800 м;
- размеры в осях — (1-8) -30 м,

Подробный состав помещения и площади представлены в графической части на листах 1 и 2. Коридорный тип объемно-планировочной системы здания, позволяет легко ориентироваться в здании с помощью коридоров, как на первом этаже, так и на втором этаже. Это способствует удобному и быстрому передвижению, а также появляется возможность во время эвакуации быстро эвакуировать посетителям и своевременно покинуть здание. Вход в здание осуществляется с внешнего фасада здания. Здание оборудовано лестницами. Конструктивная система представляет собой совокупность взаимосвязанных несущих конструкций здания, обеспечивающих его прочность, жесткость и устойчивость. Несущие конструкции здания состоят из взаимосвязанных вертикальных и горизонтальных элементов. Фундаменты приняты ленточные железобетонные, под наружные и внутренние стены кирпичные. Ширина подошвы 1600 мм под наружные стены, и 1200 мм под внутренние стены, длина подошвы принята: 1600мм, Ширина кирпича 540 мм под наружные стены, под внутренние 440 мм. Глубина заложения фундаментов принята 2.76 м.Стены здания предназначены для ограждения и защиты от воздействий окружающей среды и передают нагрузки от находящихся выше конструкций перекрытий и покрытий к фундаменту. Окна в здании запроектированы с двойным остеклением, находятся по передней стороне и тыльной. Толщина оконных блоков - 120 мм. Окна спаренный трехстворчатый. Рамы в окнах пластиковые. Размеры окон: 1810х2110мм —трехстворчатый, так же в здание имеются еще окна в размере 1210х2110мм. Наружные несущие стены состоят из кирпича. Внутренние стены, перегородки и колоны - основные внутренние вертикальные ограждающие конструкции в зданиях. Внутренние стены выполняют в здании ограждающие функции, так же

в здание имеются колоны выполняющие несущею и декоративную функцию, перегородки — только ограждающие. Общая ограждающая функция внутренних стен, перегородок и колон. Обеспечение звукоизоляции от воздушного шума. В связи с этим уровень требований к звукоизоляционным качествам этих конструкций совпадает и зависит не от их статической роли в здании, а от расположения в нем. В проектируемом здании применяются внутренние несущие стены толщиной 440 мм. Двери в здании запроектированы деревянные и глухие, неостекленные наружные с четвертями, а внутренние без четвертей. Высота дверей — 2090 мм. В общем количество и размеры дверей составляет: 1510*2070 – 4 шт., 910*2070 – 8 шт., 770*2070 – 13 шт , 1270*2070 – 2 шт.

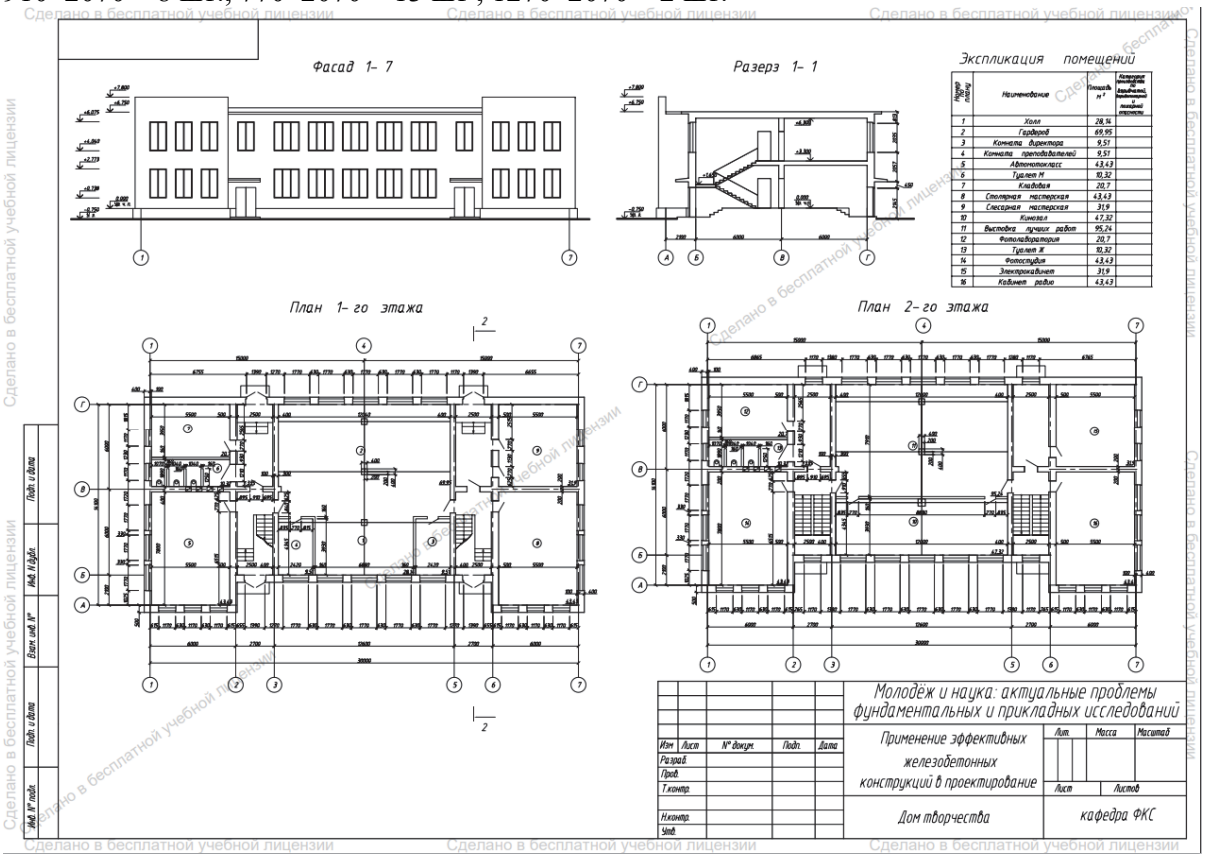


Рисунок 2

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
2. ГОСТ 9561-2016 «Плиты перекрытий железобетонные многопустотные».
3. Пособие по проектированию жилых зданий (к СП 54.13330.2016).

УДК 69.022

Сорокин Даниил Вячеславович – студент, ФГБОУ ВО «Комсомольск-на-Амуре государственный университет», email: d.sorokin2010@gmail.com

Sorokin Daniil Vyacheslavovich – student, Komsomolsk-na-Amur State University, email: d.sorokin2010@gmail.com

Сысоев Евгений Олегович – кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Комсомольск-на-Амуре государственный университет»

Sysoev Evgeny Olegovich – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

СТЕНОВЫЕ СИСТЕМЫ: ПРОСТОТА И НАДЁЖНОСТЬ

WALL SYSTEMS: SIMPLICITY AND RELIABILITY

Аннотация. В статье рассмотрены виды стеновых систем, их конструктивные особенности, преимущества, недостатки и факторы, влияющие на их надёжность. Проанализированы преимущества продольно-стеновой системы, такие как высокая устойчивость здания, равномерное распределение нагрузок, простота монтажа и возможность адаптации к изменяющимся условиям. Также выявлены экономические недостатки, связанные с большим расходом строительных материалов, и проблема подверженности изгибающим моментам, приводящая к потере устойчивости и образованию трещин. Обозначена необходимость применения дополнительных мер для обеспечения надежности конструкций, таких как использование плит жесткости.
Abstract. The article discusses the types of wall systems, their design features, advantages, disadvantages and factors affecting their reliability. The advantages of the longitudinal-wall system are analyzed, such as high stability of the building, uniform load distribution, ease of installation and the ability to adapt to changing conditions. The economic disadvantages associated with the high consumption of building materials and the problem of susceptibility to bending moments, leading to loss of stability and cracking, have also been identified. The necessity of applying additional measures to ensure the reliability of structures, such as the use of rigid plates, is indicated.
Ключевые слова: конструктивная схема, нагрузки, продольные оси, жесткость, поперечные оси, устойчивость.
Key words: design scheme, loads, longitudinal axes, stiffness, transverse axes, stability.

Конструктивная система — это метод расположения горизонтальных и вертикальных несущих конструкций. Конструктивная система воспринимает совокупность вертикальных и горизонтальных нагрузок и передаёт их на фундамент. Стеновая или бескаркасная конструктивная система — одна из конструктивных схем здания, при которой вся нагрузка располагается на несущие стены. Такая конструктивная схема не предполагает наличие колонн или готовых блоков. Предметом моих исследований являются виды стеновых систем, их отличия, преимущества и надёжность. Стеновые системы в зависимости от расположения несущих стен относительно друг друга и на плане здания, и способа опирания на них плит перекрытий разделяют на продольно-стеновые, поперечно-стеновые и перекрестно-стеновые [1-3].

Продольно-стеновая конструктивная схема представляет собой ряд стен, параллельно расположенных вдоль здания. Расстояние между стенами в такой системе называют пролетом. Различают однопролетные, двухпролетные и трехпролетные здания. Пролеты могут быть одной или разных величин. Продольная система характеризуется тем, что несущие стенки здания размещены в продольном направлении здания параллельно друг другу, вдоль продольных осей. Таким образом, перекрытия здания опираются на несущие стенки с обеих сторон здания, обеспечивая его высокую устойчивость. Она обеспечивает повышенную устойчивость здания за счет равномерного распределения нагрузок. Продольно-стеновая конструктивная схема здания может применяться в зданиях различной этажности, от одноэтажной до многоэтажной.

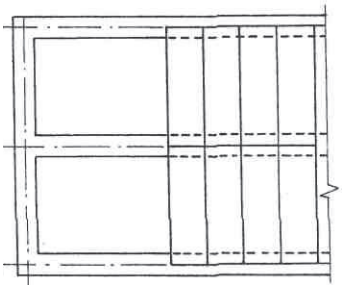


Рисунок 1 – Продольно-стеновая конструктивная схема

Также продольная стеновая система обеспечивает возможность установки дверей, окон и других элементов внутренней планировки здания практически в любом месте перекрытия. Кроме того, данный вид конструктивной схемы здания обеспечивает простоту и безопасность монтажных работ, а также возможность адаптировать здание к изменяющимся требованиям и нагрузкам.

Система продольно-стеновой конструктивной схемы достаточно проста в использовании, так как она состоит из параллельно установленных несущих стен, которые обеспечивают опору перекрытия с обеих сторон здания. Эта конструктивная схема позволяет добиться равномерного распределения нагрузок на несущие конструкции здания, что обеспечивает высокую устойчивость здания к внешним нагрузкам. Экономическим недостатком продольно-стеновой конструктивной схемы является то, что она требует большого количества строительного материала, а значит и больших затрат на возведение здания. Другая, более серьезная проблема продольно-стеновой системы — ее подверженность изгибающим моментам, и, как следствие, возможность потери устойчивости. Это может вызвать появление трещин в районе стяжек перекрытия. Для решения этой проблемы используют плиты жесткости и распорки. Другой способ решения проблемы устойчивости здания при продольно-стеновой конструктивной схеме - использование системы контрфорсов. Контрфорсы представляют собой дополнительные прогоны, установленные в поперечном направлении здания, которые принимают на себя часть нагрузки от здания и тем самым повышают его устойчивость. При использовании продольно-стеновой конструктивной схемы здания рекомендует использовать прочные и жесткие материалы, такие как железобетон, камень, кирпич. Данные материалы обеспечивают зданию устойчивость к изгибающим моментам и другим внешним нагрузкам, при правильной проектировки и учете технических особенностей данной системы. Поперечно-стеновая система — это конструктивная схема, в которой передача вертикальных нагрузок и опирание перекрытий идёт в основном на поперечные несущие стены. Плиты перекрытий в такой системе в основном работают по балочной системе по двум противоположным сторонам. Горизонтальные нагрузки, перпендикулярные поперечным стенам, воспринимают продольные диафрагмы жесткости. Диафрагмами жесткости чаще всего служат продольные стены лестничных клеток и участки продольных внутренних и наружных стен.

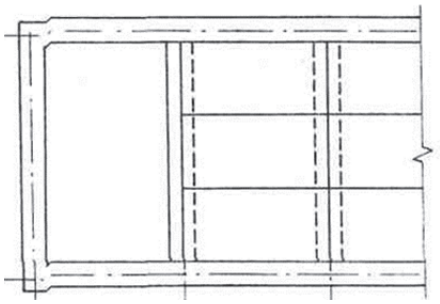


Рисунок 2 – поперечно-стеновая конструктивная схема

Поперечно-стеновая конструктивная схема здания характеризуется тем, что несущие стенки здания размещаются перпендикулярно продольным осям здания в плане. Таким образом, перекрытия здания опираются на несущие стенки в местах их пересечения. Схема очень похожа на перекрестно-стеновую, за исключением того, что несущие стены параллельны. При поперечно-стеновой конструктивной схеме здания обеспечивается равномерное распределение нагрузок на несущие конструкции здания, что способствует повышению общей устойчивости здания. Так же такая схема здания обеспечивает простоту в установке и замене перегородок здания, а также возможность возведения зданий различной высоты. Она может использоваться при строительстве зданий этажностью до 30 этажей.

Перекрестно-стеновая система является одним из типов конструктивной схемы здания. Она характеризуется расположением несущих стен перпендикулярно друг другу в плане здания. Перекрестно-стеновая схема отличается от других конструктивных схем тем, что несущие стены находятся под несущими стенами соседних пролетов и образуют углы, равные 90 градусам. Плиты перекрытия опираются на стены этой системы по трем сторонам или по контуру. Такая система обеспечивают высокую жесткость здания. Благодаря высокой жесткости эта система часто используется в проектировании многоэтажных зданий и зданий в неудобных геологических условиях, а также в сейсмически активных участках. Другой особенностью перекрестной системы является малоразмерность помещений, что позволяет применение этой конструктивной схемы только в жилых зданиях. Пере-

крестно-стеновая конструктивная схема обладает рядом преимуществ по сравнению с другими конструктивными схемами. Во-первых, она обеспечивает высокую устойчивость здания к горизонтальным нагрузкам за счет образования жестких рам между несущими стенами. Во-вторых, перекрестно-стеновая схема обеспечивает равномерное распределение нагрузок на несущие конструкции здания, что способствует более эффективному использованию материалов и экономии затрат. В-третьих, перекрестно-стеновая система обладает конструктивной гибкостью. Это означает, что она позволяет адаптировать проект здания к меняющимся требованиям по высоте, планировке и размещению внутренних стен, что сильно облегчает этап проектировки. Конструктивная схема перекрестно-стенового типа считается простой в исполнении, так как состоит только из несущих стен перпендикулярно друг другу с их пересечением в местах примыкания к середине здания. Это обеспечивает простоту монтажа, так как элементы здания монтируются последовательно друг за другом в процессе производства работ. Перекрестно-стеновая система позволяет возводить здание в короткие сроки и с меньшими затратами. Кроме того, она обеспечивает возможность применения различных типов несущих конструкций, таких как камень, деревянный брус и металл. Значительная часть конструируемых зданий основывается на стеновых системах. Эти системы обладают меньшей затратностью и простотой возведения и монтажа относительно других конструктивных схем. Различные стеновые системы обладают своими достоинствами и недостатками, которые необходимо учитывать при возведении здания. В настоящее время существует растущий спрос на возведение зданий различного назначения, и выбор правильной конструктивной схемы здания является важной задачей при проектировании и возведении. Современные здания становятся все выше и сложнее, что требует использование правильных конструктивных схем здания, обеспечивающих высочайшую устойчивость и безопасность. Поэтому исследование стеновых систем является актуальной научной задачей. Исследования необходимо проводить с учетом технических различий систем, а также их разных зон применений

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Абрамов, С. В. Современные стеновые материалы и конструкции : учебное пособие / С. В. Абрамов, В. И. Римшин, А. С. Семенов. - Москва : АСВ, 2017. - 320 с

2 Журавлева, Е. В. Напряженно деформированное состояние железобетонных оболочек при разном проценте армирования / Е. В. Журавлева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 203-206. – EDN TLFGIH.

3 Аминов, Р. Э. Оптимизация расчетов теплотехнических характеристик стеновых конструкций при проектировании жилых зданий / Р. Э. Аминов, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 143-146. – EDN KUQXGK.

УДК 692.052

Трохова Дарья Дмитриевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Trokhova Darya Dmitrievna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Журавлева Екатерина Викторовна, старший преподаватель, кафедра «Строительство и архитектура», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zhuravleva Ekaterina Viktorovna, Senior Lecturer, Department of Construction and Architecture, Komsomolsk-na-Amure State University

СОВРЕМЕННЫЕ МОНОЛИТНЫЕ ПУСТОТНЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

MODERN MONOLITHIC HOLLOW FLOORS

В данной статье рассматриваются современные подходы к проектированию и строительству монолитных пустотных перекрытий. Анализируются преимущества и недостатки использования данного вида перекрытий в сравнении с традиционными технологиями. Особое внимание уделяется вопросам повышения эффективности использования материала и улучшению тепло и звукоизоляционных характеристик. Приведены примеры успешного применения монолитных пустотных перекрытий в различных строительных проектах. Дана оценка перспектив дальнейшего развития данной технологии в контексте современных требований к устойчивости и экологичности строительных решений.
This article discusses modern approaches to the design and construction of monolithic hollow floors. The advantages and disadvantages of using this type of floor covering in comparison with traditional technologies are analyzed. Special attention is paid to the issues of increasing the efficiency of material use and improving heat and sound insulation characteristics. Examples of successful application of monolithic hollow floors in various construction projects are given. The prospects for further development of this technology in the context of modern requirements for sustainability and environmental friendliness of construction solutions are assessed.
Ключевые слова: монолитные пустотные перекрытия, технологии, эффективность, строительство
Keywords: monolithic hollow floors, technology, efficiency, construction

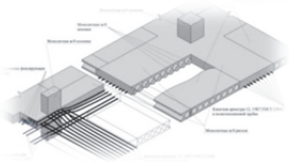
В современных условиях строительная отрасль сталкивается с постоянно возрастающими требованиями к эффективности, устойчивости и экологичности строительных решений. Одной из важных составляющих успешного проекта является выбор надежных и экономически выгодных технологий для устройства перекрытий. Монолитные пустотные перекрытия, благодаря своей функциональности и универсальности, стали популярным выбором в гражданском и промышленном строительстве. В данной статье рассматриваются ключевые аспекты проектирования и применения монолитных пустотных перекрытий. Особое внимание уделяется их конструктивным особенностям, преимуществам использования по сравнению с традиционными методами, а также возможностям адаптации к различным архитектурным требованиям. Целью данного исследования является анализ современных тенденций и перспектив развития данной технологии, а также поиск оптимальных решений для повышения эффективности и устойчивости построек [1-3].

Современные монолитные перекрытия являются одной из самых востребованных технологий в строительной отрасли. Их популярность обусловлена сочетанием прочности, малого веса и звукоизоляции, что делает их идеальными для использования в различных типах строительства. Монолитные пустотные перекрытия обладают рядом значительных преимуществ, которые делают их востребованными в современном строительстве. Одним из основных достоинств является высокая прочность и долговечность благодаря монолитной конструкции, что обеспечивает надежность и устойчивость здания. Использование пустот в перекрытиях позволяет существенно снизить общий вес конструкции, что в свою очередь уменьшает нагрузку на несущие стены и фундамент, а также способствует снижению затрат на транспортировку и монтаж. Кроме того, такая конструкция обеспечивает отличные звукоизоляционные и теплоизоляционные свойства, создавая комфортные условия для проживания. Универсальность и возможность адаптации к различным архитектурным формам и стилям открывают безграничные возможности для дизайна и позволяют воплощать в жизнь самые смелые проекты. Также применение монолитных пустотных перекрытий способствует сокращению сроков строительства и уменьшению затрат на строительные материалы, что делает их экономически целесообразными. Данные перекрытия обладают рядом важных преимуществ, что делает их востребованными в современном строительстве. Главным преимуществом монолитной конструкции является его долговечность, которая обеспечивает его надежность и стабильность. Использование зазоров в покрытии

снижает общий вес конструкции, тем самым снижая нагрузку на стены и фундамент, а также снижая затраты на транспортировку и монтаж. Кроме того, такая конструкция обеспечивает хорошие звуковые и теплоизоляционные свойства, создавая комфортные условия для проживания. Универсальность и разнообразие форм и архитектурных стилей открывают неограниченные дизайнерские возможности и позволяют реализовать самые амбициозные проекты. Кроме того, использование МПП сокращает сроки строительства и снижает стоимость строительных материалов, что делает их экономически выгодными. Технология изготовления. Технологический процесс включает заливку бетона с использованием специальных форм или щитов, в которых формируют пустоты. Такие формы изготавливаются из различных материалов, включая пенополистирол и пластик, что позволяет создавать пустоты различных размеров и конфигураций.

Основные этапы: процесс возведения МПП. Таблица 1

Таблица 1

Проектирование На данном этапе создаются чертежи и схемы будущих перекрытий. Определяется расположение пустот и рассчитываются нагрузки.	
Подготовка основания Этот этап, включает в себя выравнивание и укрепление опалубки. Качество подготовки основания напрямую влияет на надежность перекрытия.	
Установка арматуры Арматурные каркасы размещаются в соответствии с проектом для обеспечения необходимой жесткости и прочности перекрытия.	
Заливка бетона Один из ключевых этапов. Бетонная смесь равномерно заливается, чтобы избежать образования пустот и недостатков в структуре.	
Затвердевание и уход за бетоном После заливки бетону необходимо время для выхода на проектную прочность. В это время за ним нужно ухаживать, например, поддерживать влажность, чтобы не было трещин.	
Демонтаж опалубки После затвердевания бетона опалубка аккуратно снимается.	

Процесс возведения монолитных пустотных перекрытий состоит из нескольких ключевых этапов, каждый из которых требует внимания и профессионализма.

Современные монолитные пустотные перекрытия играют важную роль в строительной практике благодаря своей экономичности, прочности и долговечности. Они позволяют снижать затраты на материалы за счет уменьшения массы конструкций, не влияя при этом на их несущую способность. Пустоты в этих перекрытиях способствуют улучшению теп-

ловой и звуковой изоляции, что делает их особенно привлекательными. Технология монолитного строительства гибко адаптируется к архитектурным решениям, что позволяет архитекторам и дизайнерам реализовывать уникальные и сложные проекты. Однако успех применения таких перекрытий зависит от строгого соблюдения технологий и качества материалов. Также важен профессионализм инженеров и рабочих, так как ошибки могут сказаться на безопасности и долговечности конструкции. В итоге, современные монолитные пустотные перекрытия открывают обширные возможности для строительных инноваций, способствуя созданию более устойчивой и экологически ответственной строительной практики. Они помогают удовлетворить растущие потребности общества в качественном жилье и инфраструктуре.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Залигер Р. Железобетон и его проектирование. - М.-Л., ГНТИ, 1931. - 671 с.

Большепролетные монолитные конструкции, ЗАО «Стройпромавтоматика», ООО «ПКБ Катриэль», 19-я Международная неделя капитального строительства «СТРОЙТЕХ-2011», 14-17 февраля 2011 года, ЭЦ «Сокольники» , www.stroytekh.ru.

2. Ху, Я. О возможностях пустотных монолитных перекрытий / Я. Ху, О. Е. Сысоев, И. В. Погорельских // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2024 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – С. 176-179. – EDN CVFRFE.

УДК 624.012.35

Ширяева Алена Алексеевна, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shiryaeva Alena Alekseevna, masterstudent, Komsomolsk-na-Amure State University

Дзюба Виктор Александрович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Dzyuba Viktor Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Docent, Komsomolsk-na-Amure State University

АНАЛИЗ ПОЛНЫХ ДИАГРАММ СЖАТИЯ БЕТОНА С ПОПЕРЕЧНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

ANALYSIS OF COMPLETE COMPRESSION DIAGRAMS OF CONCRETE WITH TRANSVERSE REINFORCEMENT

Аннотация. Выполнен анализ результатов экспериментально-теоретических исследований сжатых железобетонных элементов. Рассмотрены аналитические зависимости для описания диаграмм сжатого бетона при различном поперечном армировании, оценено влияние поперечного армирования на максимальные деформации и напряжения сжатого бетона в сжатых железобетонных элементах.

Abstract. The results of experimental and theoretical studies of compressed reinforced concrete elements are analyzed. Analytical dependencies for describing diagrams of compressed concrete with different transverse reinforcement are considered, the effect of transverse reinforcement on maximum deformations and stresses of compressed concrete in compressed reinforced concrete elements is estimated.

Ключевые слова: полные диаграммы бетона, предельная деформация, учет работы хомутов, замкнутые хомуты, стадия разрушения, коэффициент объемного поперечного армирования, максимальное напряжение бетона при сжатии.

Key words: complete diagrams of concrete, limiting deformation, accounting for the work of clamps, closed clamps, destruction stage, coefficient of volumetric transverse reinforcement, maximum concrete stress during compression.

Поперечная арматура является обязательным элементом армирования сжатых конструкций, так как защищает продольную рабочую арматуру от потери устойчивости. Помимо этого она может влиять на характер деформирования бетона в стадии, близкой к разрушению, увеличивая предельные деформации бетона и в отдельных случаях его прочность[1,2]. Конечно, факторами, влияющими на эти параметры, являются коэффициент объемного поперечного армирования, шаг хомутов. Проведенные экспериментальные исследования позволили предложить аналитические зависимости для описания поведения бетона с хомутами[3,4,5].

В исследовании [3] авторами были представлены результаты испытаний двенадцати железобетонных колонн под действием осевой нагрузки. Размеры колонн 254 x 254 x 762 мм, с 8 продольными стержнями и без них, а также с ромбовидными и квадратными хомутами (рисунок 1). В некоторых колоннах наблюдалось увеличение прочности бетонной сердцевины более чем на 20%. Созданная модель была аналогична модели авторов [4] с увеличением максимальной прочности бетона в замкнутом пространстве.

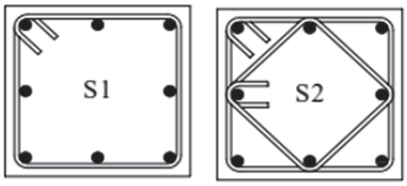


Рисунок 1 – Колонны с ромбовидными и квадратными хомутами

Для описания восходящей ветви диаграммы сжатия бетона авторами [3] была предложена следующая функция:

$$\frac{\sigma_b}{R_b} = \frac{\frac{E_c\varepsilon_o}{R_b}\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_o}\right) - k\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_o}\right)^2}{1+\left(\frac{E_c\varepsilon_o}{kR_b}-2\right)\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_o}\right)} \quad . \tag{1}$$

Нисходящая ветвь представлена линейной зависимостью в виде:

$$\frac{\sigma_b}{R_b} = k\left[1 - Z\varepsilon_o\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_o} - 1\right)\right]. \tag{2}$$

Коэффициент k, который влияет на повышение прочности бетона, определяется по формуле:

$$k = 1 + 0.1096\left(1 - 0.24\frac{s}{h}\right)\frac{\left(\rho_s + \frac{d_s}{d_{sp}}\rho\right)R_{sw}}{\sqrt{R_b}}, \tag{3}$$

где s – шаг хомутов; h - внутренний размер стороны хомута; ρ_s – коэффициент объемного армирования хомутов; ρ – коэффициент продольного объемного армирования; d_s – диаметр поперечных хомутов; d_{sp} – диаметр продольных стержней; R_{sw} – предел текучести поперечной арматуры.

Диаграммы сжатия бетона в работе [5] были представлены с учетом требований проектирования колонн в Японии. Аналитические зависимости основаны на результатах серии испытаний на сжатие образцов железобетонных колонн с круглым и квадратным поперечными сечениями. Переменными, которые варьировались в эксперименте, были соотношение объема хомута, расстояние между ними, конфигурация крючка в креплении хомута.

Функция, определяющая восходящую ветвь:

$$\sigma_b = E_c\varepsilon_b\left[1 - \frac{1}{n}\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_o}\right)^{n-1}\right] \quad . \tag{4}$$

Для нисходящей ветви предложена зависимость:

$$\sigma_b = R_{bh} - E_{des}(\varepsilon_b - \varepsilon_o), \tag{5}$$

где E_{des} - наклон нисходящей линии, который может быть найден с помощью следующего уравнения:

$$E_{des} = \frac{11.2}{\frac{\rho_s R_{sw}}{R_b^2}}, \tag{6}$$

В данном исследовании произведена оценка влияния диаметра поперечных стержней, шага поперечных стержней при постоянном классе бетона В20 на предельные деформации. Оценка выполнена на основе предложений авторов [3,4,5]. Результаты сравнения приведены в таблице 1.Шаг хомутов составлял 100мм,200мм и 300мм, а диаметры хомутов изменялись от 6мм до 18мм. Сравнение диаграмм с поперечной арматурой диаметром 10 мм и шагом между стержнями 100мм, предложенных авторами работ [3] и [5] приведено на рисунке 2.

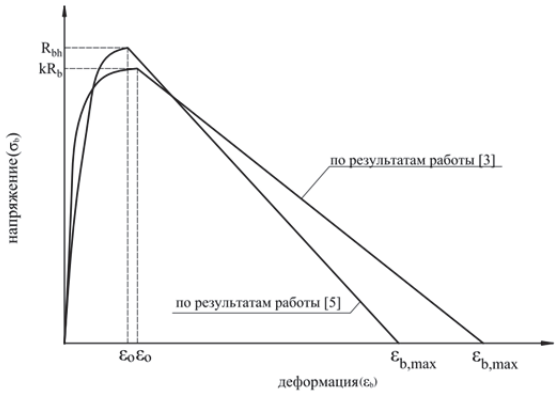


Рисунок 2 – Диаграмма напряжения-деформации для сжатого бетона по данным работ [3] и [5]

Основное внимание при оценке влияния хомутов уделялось работам [3] и [5]. Значения предельных деформаций и напряжений приведены в таблице 1. Расчеты показали, что при всех диаметрах хомутов происходит рост максимальных напряжений в бетоне. Причем с увеличением диаметра поперечных стержней это приращение возрастает. Хотя при обычном шаге хомутов этот эффект незначительный.

Предельные деформации бетона также растут при учете хомутов. Причем эти значения по данным работы [3] значительно опережают величины, вычисленные по данным работы [5]. Применительно к деформациям эффект поперечного армирования обязательно следует учитывать, так как появляется возможность более полно использовать прочностные характеристики продольной арматуры.

Таблица 1 – Результаты исследований при разном диаметре поперечной арматуры

№ п/п	Класс бетона	Диаметр арматуры хомутов, мм	Максимальная прочность бетона R_b, МПа						Максимальная деформация бетона $\varepsilon_{b.max}*10^3$ при $\sigma_b=0$					
									шаг хомутов 100мм		шаг хомутов 200мм		шаг хомутов 300мм	
			Хошикума			Валенас			Хошикума	Валенас	Хошикума	Валенас	Хошикума	Валенас
			шаг 100мм	шаг 200мм	шаг 300мм	шаг 100мм	шаг 200мм	шаг 300мм						
1	B20	6	15.86	15.43	15.28	15.91	15.63	15.51	10.8	20	6.5	13.6	5.1	12
		8	16.51	15.76	15.5	16.42	15.94	15.75	17.7	27.5	9.8	16.3	7.3	13.4
		10	17.35	16.17	15.78	17.04	16.3	16.02	27.2	37	14.1	19.7	10	15.2
		12	18.37	16.68	16.12	17.77	16.72	16.33	39.8	48.4	19.6	23.7	13.5	17.3
		14	19.56	17.28	16.52	18.59	17.18	16.66	56	61.7	26.4	28.5	17.8	19.8
		18	22.45	18.73	17.48	20.54	18.26	17.42	101.7	93.6	44.5	39.7	28.8	25.7

Анализ результатов экспериментальных исследований различных авторов показывает, что часто расположенные поперечные хомуты в сжатых элементах влияют на предельную деформативность сжатого бетона. Увеличение прочности при этом незначительно. И по нашему мнению может не учитываться.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ширяева А. А., Дзюба В. А. Влияние шага поперечной арматуры на предельные деформации сжатого. Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Часть 2. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2024 г. с. 192-194.

2. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием сжатой зоны // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №7. С. 41-44.

3. VALLENAS, J., BERTERO, V.V., and POPOV, E.P., "Concrete Confined by Rectangular Hoops and Subjected to Axial Loads", Earthquake Engineering Research Centre, College of Engineering, University of California, Berkeley, California, Report No. UCB/EERC-77/13, August 1977, 114 pp.

4. Kent D.C. and Park R. (1971). "Flexural members with confined concrete." Journal of the Structural Division, Proc. of the American Society of Civil Engineers, 97(ST7), 1969-1990.

5. Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K., and Taylor, A. W. (1997). “Stress-Strain Model for Confined Reinforced Concrete in Bridge Piers.” J. Struct. Eng., 123(5), 624- 633.

УДК 624.01

Шмаков Арсений Артёмович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shmakov Arseniy Artemovich, student, Komsomolsk-na-Amur State University

Сысоев Евгений Олегович, кандидат экономических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sysoev Evgeny Olegovich, PhD in Economics, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amur State University

МЕТОДЫ ПРОГРЕВА БЕТОНА В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

METHODS OF HEATING CONCRETE IN WINTER

Аннотация. В настоящей статье представлен сравнительный анализ методов прогрева бетона, применяемых в зимний период при отрицательных температурах окружающей среды. Рассмотрены основные технологические подходы, а также факторы, определяющие выбор оптимального метода прогрева в зависимости от конкретных условий строительства и требований к качеству бетонных конструкций. Особое внимание уделено эффективности энергозатрат и экономическим аспектам применения различных технологий.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, прогрев бетона, методы прогрева, термическая обработка, морозостойкость, энергоэффективность, противоморозные добавки.

Annotation. This article presents a comparative analysis of concrete heating methods used in winter at subzero ambient temperatures. The main technological approaches are considered, as well as the factors determining the choice of the optimal heating method depending on the specific construction conditions and quality requirements of concrete structures. Special attention is paid to the efficiency of energy consumption and the economic aspects of the use of various technologies.

Keywords: winter concreting, concrete heating, heating methods, heat treatment, frost resistance, energy efficiency, antifreeze additives.

Зимний период не должен быть временем застоя для строительной отрасли. Необходимо обеспечивать непрерывность строительных процессов, выполняя работы в течение всего года, а при необходимости – и круглосуточно. Согласно актуальной статистике, на холодное время года приходится значительная доля – от 35% до 45% – всего объема строительных работ. Это существенная цифра, подчеркивающая важность выбора оптимальных технологий для бетонирования в зимних условиях [1-3]. Проведение бетонных работ при отрицательных температурах осложняется неоднородностью затвердевания бетонной смеси. Вода, содержащаяся в растворе, быстро замерзает, что останавливает процесс гидрата-

ции. При повышении температуры происходит оттаивание, что может привести к нарушению структуры монолитных конструкций. Это, в свою очередь, вызывает образование трещин, повышенное влагопоглощение, изменение внутренней структуры и, как следствие, сокращение срока эксплуатации. Использование методов прогрева бетона позволяет избежать указанных негативных последствий [4].

Способы прогрева бетона в зимний период.

Можно выделить 3 группы:

- прогрев бетона методом «Термоса»;
- прогрев бетона проводом ПНСВ;
- с помощью химических противоморозных добавок.

Предварительный разогрев смеси

Процесс приготовления раствора предусматривает смешивание предварительно нагретых составляющих. Величина нагрева определяется рядом факторов, включая удаленность площадки бетонирования, метод доставки раствора и температуру окружающей среды.

При производстве бетонных смесей в условиях отрицательных температур необходимо соблюдать ряд технологических требований, обеспечивающих набор прочности бетоном в раннем возрасте. К основным мероприятиям относится увеличение процентного содержания цемента в составе бетонной смеси. Этот приём направлен на интенсификацию процессов гидратации и выделения тепла, что особенно важно в условиях замедленной реакции при низких температурах.

Снижение водоцементного отношения (В/Ц) способствует повышению прочности и морозостойкости бетона. Уменьшение В/Ц приводит к снижению пористости структуры и повышению плотности цементного камня.

Предварительный подогрев заполнителей (щебня, гравия, песка) до температуры +35 °С. Подогрев компонентов позволяет ускорить процесс приготовления смеси и обеспечить необходимую температуру на начальном этапе затвердевания.

Подогрев воды затворения до +70°С. Как и в случае с заполнителями, подогрев воды способствует повышению температуры смеси и ускорению процессов гидратации.

Соблюдение последовательности смешивания: сначала подогретая вода смешивается с зернистыми заполнителями, и только затем добавляется цемент. Такая последовательность обеспечивает более равномерное распределение воды и предотвращает образование комков цемента.

Введение в состав бетонной смеси противоморозных и воздухововлекающих добавок. Противоморозные добавки позволяют бетону затвердевать при отрицательных температурах, а воздухововлекающие добавки повышают его морозостойкость и снижают риск растрескивания.

Контролируйте температуру готовой смеси: она не должна превышать +30 °С. Перегрев смеси может привести к ускоренному схватыванию и снижению прочности бетона. Увеличение времени перемешивания бетонной смеси на 25-50% по сравнению с летними условиями. Это необходимо для обеспечения однородности смеси и равномерного распределения добавок. Важное значение имеет и порядок загрузки компонентов в бетоносмесительная и первоначально вводится крупный и мелкий заполнитель с большей частью воды затворения;

После нескольких оборотов смесителя добавляется оставшаяся часть воды;

Общее время перемешивания должно составлять не менее 2–3 минут, что необходимо для достижения требуемой однородности бетонной смеси 1.

Методы прогрева бетона

Метод термоса — это частый, проверенный временем и экономичный способ работы с бетонными смесями. Он показывает очень высокую эффективность при температурах ниже +5°С. Данная технология заключается в следующем:

• бетонный раствор готовят заранее и доставляют на строительный объект в прогретом состоянии;

• Материал укладывают в опалубку, при этом важно минимизировать потери тепла;

• На верхний слой укладывают теплоизоляционные материалы, которые препятствуют проникновению пара и влаги.

В результате процесса гидратации возникает тепловой эффект, который также называют экзотермическим. Прогрев бетона с помощью метода термоса включает использование различных утеплителей, пленок и тентов. Эти материалы помогают поддерживать необходимую температуру, при которой затвердевание бетонного раствора происходит оптимально. Важно учитывать, что в первые 10 часов после укладки смеси необходимо поддерживать положительную температуру.

Реакция, сопровождающаяся выделением необходимого количества тепла, начинается через 10–15 часов (рисунок 1).



Рисунок 1. Накрытие забетонированной конструкции пологом.

Прогрев бетона **проводом ПНСВ (**Провод нагревательный, стальной, в виниловой изоляции)

Прогрев бетона при помощи кабеля ПНСВ является одним из наиболее эффективных методов и широко используется для обогрева массивных конструкций.

У этого способа есть несколько преимуществ:

1) Кабель ПНСВ обеспечивает постепенное нагревание бетона, что способствует плавному набору прочности;

2) Возможность кабеля регулировки температуры;

3) Кабель обладает высокой прочностью и устойчивостью к возгоранию;

4) Кабель подходит для использования при низких температурах.

К недостаткам данного провода можно отнести необходимость предварительных подготовок и точных расчетов. Кабель не должен прикасаться с землей, опалубкой или выходить за пределы бетона, то есть должен взаимодействовать только с воздухом.

Уникальность метода заключается в использовании «холодных концов», которые подключаются в местах выхода ПНСВ из бетона. После заливки смеси и начала ее застывания подключается к трансформатору. Схема прогрева может быть однофазной или трехфазной, а так же важно соблюдать расстояние между линиями не менее 15 мм (рис. 2), и не превышать силу тока 15 А, а длина секций должна быть в два раза меньше напряжения трансформатора.

Средний расход кабеля составляет 60 метров на 1 м³ смеси

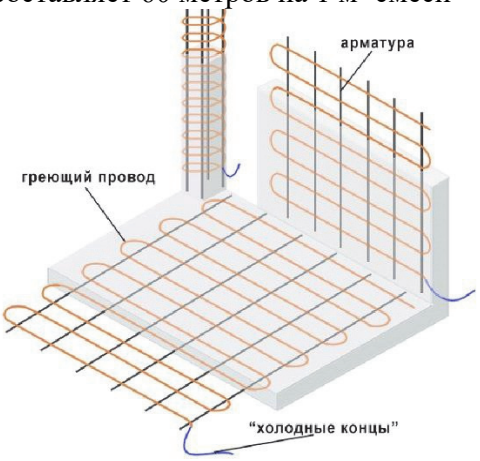


Рисунок 2. Раскладка греющего провода.

Прогрев бетона электродами

Электрический прогрев бетона чаще всего используется на крупных строительных объектах. Этот метод основан на нагреве бетонной смеси с помощью электродов, подключенных к трансформаторам. Тепло возникает в результате прохождения электрического тока через смесь.

В основном применяются плоские электроды, которые устанавливаются на опалубку в тех местах, где они соприкасаются с бетоном. После этого их подключают к различным фазам электросети

Индукционный метод прогрева бетона

Индукционный прогрев представляет собой процесс нагрева стальной опалубки, арматурных компонентов и изделий с использованием электромагнитного поля индукционной катушки. Этот метод используется для нагрева небольших элементов армированных конструкций

Инфракрасный метод прогрева бетона

Бетон поглощает инфракрасные лучи, выделяя тепло. Для прогрева применяются кварцевые и трубчатые металлические обогреватели. С помощью инфракрасного прогрева разогревают арматуру, залитую бетонную поверхность или термоизоляцию уложенной смеси

Использование химических добавок

Использование химических добавок при прогреве бетона является важным аспектом в строительстве и ремонте. Добавки помогают ускорить процесс гидратации цемента, что особенно актуально в холодное время года. Они могут повышать прочность бетона на стадии раннего твердения, что сокращает время ожидания перед выполнением последующих работ. Одной из распространенных добавок являются ускорители твердения, такие как хлористые соли. Эти добавки способствуют более быстрому набору прочности, но требуют осторожности из-за риска коррозии арматуры. Также существуют пластифицирующие добавки, которые улучшают текучесть бетонной смеси и позволяют сократить количество воды. При использовании химических добавок важно соблюдать рекомендации производителей, чтобы избежать негативных последствий. Некоторые добавки могут снижать долговечность бетона, поэтому их выбор требует тщательного анализа. Существуют добавки, которые защищают бетон от замораживания, что особенно важно в условиях низких температур. Прогрев бетона с использованием добавок может быть эффективным решением для обеспечения качества конструкций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Колоколов, В. В. Особенности зимнего бетонирования с применением противоморозных добавок / В. В. Колоколов, О. Е. Сысоев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 ноября 2023 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 339-342. – EDN TQCEKP.

2 Арсентьева, К. А. Эффективность использования противоморозных добавок при зимнем бетонировании / К. А. Арсентьева, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 14–16 декабря 2022 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 146-149. – EDN KXMMVY.

3 Арсентьева, К. А. Бетонирование строительных конструкций в зимний период с использованием термопроводов / К. А. Арсентьева, О. Е. Сысоев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 6-8. – EDN GKNZNN.

4 Поляков, И. А. Учет особенностей бетонирования строительных конструкций в условиях Крайнего Севера при проектировании зданий и сооружений / И. А. Поляков, О. Е. Сысоев // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 16–17 декабря 2021 года / Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 211-213. – EDN DAUHPN.

УДК 692
Штарк Рената Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Shtark Renata Andreevna, student, Komsomolsk- na-Amure State University
Сысоев Евгений Олегович, доцент к.э.н., Комсомольский-на-Амуре
государственный университет
Sysoev Evgeny Olegovich, Associate Professor, Candidate of Economics, Komsomolsk-na-Amure State University
Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, доцент кафедры «Строительство и архитектура», ФГБОУ ВО Комсомольский-на-Амуре государственный университет
Sysoev Oleg Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction and Architecture, Komsomolsk-na-Amure State University

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КРОВЛИ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

FEASIBILITY OF USING DIFFERENT TYPES OF ROOFING IN VARIOUS CLIMATIC CONDITIONS

Аннотация. В наше время существуют основные типы кровельных материалов, а именно: металлические, битумные, черепичные и пластиковые покрытия. В зависимости от вида будут проанализированы, какие конструкции наиболее подходят для холодного, теплого, влажного и сухого климата, а также рассмотрим их преимущества и недостатки. Данная статья обеспечена для более глубокого внимания важности правильного выбора кровли в зависимости от климатических особенностей.
Abstract.. Nowadays there are main types of roofing materials, namely metal, bituminous, tile and plastic coverings. Depending on the type, it will be analyzed which designs are most suitable for cold, warm, wet and dry climates, as well as consider their advantages and disadvantages. This article is provided for more in-depth attention to the importance of the correct choice of roofing depending on climatic features.
Ключевые слова: кровельные материалы, покрытия, преимущества, недостатки, климатические особенности.
Keywords: roofing materials, coatings, advantages, disadvantages, climatic features.

Правильный выбор типа кровли представляет собой одним из ключевым аспектом в строительстве, так как он оказывает ощутимое влияние на долговечность и безопасность. В зависимости от географического положения, климатические условия существенно видоизменяться, что обуславливает необходимость применять разные подходы к выбору материалов. К примеру, в местах с обильными осадками важными факторами являются водонепроницаемость и надежность, тогда как в сухих и жарких условиях – теплоотражающие свойства и устойчивость к ультрафиолетовому излучению. Главной целью статьи является проанализировать целесообразность использование разных видов кровли в зависимости от климатических условий [1, 2]. Кровля является одним из самых важных элементов в строительной конструкции, которая обеспечивает защиту здания от внешних факторов. Ключевые климатические параметры включают в себя уровень осадков, среднегодовую температуру, ультрафиолетовое излучение, а так же особенности местного микроклимата. Рассмат-

ривая каждый климат по отдельности можно определить необходимый вид материалов для кровли [3, 4]. Холодный климатический пояс. Регионы, в которых доминируют низкие температуры, важно выбирать кровлю способную выдержать снеговые нагрузки и предотвращать образование наледи. Наиболее правильным вариантом будут служить следующие материалы:

1. Металлическая кровля.

Преимущества: долговечность, минимальная задержка снега, огнестойкость, небольшой вес.

Недостатки: повышенный шум при дожде и граде, необработанная сталь подвержена коррозии, высокая теплопроводность. Отсюда можно заметить, что металлические пласты легко очищать от снега и льда, а так же отражает солнечные лучи, что помогает поддерживать комфортную температуру внутри помещения.

2. Кровля из битумной черепицы.

Преимущества: устойчивость к ультрафиолету, бесшумность, устойчивость к коррозии, обладает морозостойкостью и влагоотталкивающими свойствами.

Недостатки: многоэтапность монтажа, скопления мусора, невозможность использования с уклоном менее 12 градусов, высокая стоимость.

Так как эта кровля хорошо справляется с холодами и обеспечивает надежную гидроизоляцию, и обладает хорошей звукоизоляцию, что немаловажно учитывать при выборе вида кровли. Теплый и сухой климатические пояса. В регионах с теплыми условиями, где высокие температуры и солнечные излучения позволяют вызвать перегрев помещения, выбор кровли должен учитывать теплоизоляционные свойства и устойчивость к ультрафиолету. К таким рекомендациям наиболее подходят:

1. Кровля из керамической черепицы.

Преимущества: высокий срок службы, легко поддается ремонту, бесшумная, низкая теплопроводность.

Недостатки: большой вес, хрупкость, требует уклон не меньше 22 градусов.

Это традиционный материал, который обладает хорошими теплоизоляционными характеристиками и отлично вписывается в архитектуру южных регионов. Также имеет устойчивость к солнечному излучению и не подвержен к коррозии.

2. Кровля из композитной черепицы.

Преимущества: долговечность, огнеустойчивость, бесшумная, легкий вес, стойкость к коррозии.

Недостатки: скопление грязи и пыли, сложность в чистке, высокая цена.

Так как такая крыша имеет глазурованную каменную крошку, она способна отражать солнечные лучи, поэтому материал не предает тепло в помещение, и способны оптимизировать внешний вид.

Влажный климатический пояс. В этих регионах способствует высокая влажность и частые осадки, поэтому при выборе кровли важно учитывать устойчивость к воздействию к влаге и грибка. К таким кровлям можно отнести:

1. Металлическая кровля с полиуретановым покрытием.

Преимущества и недостатки те же как и у обычной металлической кровли, но из за полиуретанового покрытия повышаются свойства герметизации и гидроизоляции от атмосферных воздействий.

2. Кровля с использованием ПВХ мембраны.

Преимущества: высокая прочность и эластичность, поверхность мембраны паропроницаема, длительный срок эксплуатации.

Недостатки: содержание вредных веществ, которые могут испарятся в атмосферу, большая стоимость, для укладки требуется ровная поверхность.

Мембрана для кровли дает возможность укладки на старое покрытие, не демонтируя ранний пластик. Малый вес позволяет уменьшить значительную нагрузку на основное строение. Также предотвращает, из-за обильной влажности, образование грибка и плесени.

Выбор кровли для зданий в различных климатических условиях требует тщательного подхода к изучению множеств факторов, включая уровень осадков, среднюю температу-

ру, солнечное излучение. Каждый климат имеет свои особенности, которые существенно могут повлиять на долговечность и эффективность кровельных материалов. В условиях жарких и солнечных регионов нужно включить теплоотражающие материалы, а в условиях влажного и холодного климата следует обращать на высокую водонепроницаемость и устойчивость к коррозии. Исходя из этого, использование различных видов кровли не только обеспечивает нужную защиту, но и способствует экономии ресурсов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Малов М. Н., Сысоев Е.О. РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ / М. Н. Малов, Е. О. Сысоев / В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции

2 Евтушенко О. В., Сысоев Е. О. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА / О. В. Евтушенко, Е. О. Сысоев. / В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. с. 200-203. и молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. 362-365 с.

3 Джумаев Ф. Б., Сысоев Е. О. ЭФФЕКТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МЯГКОЙ КРОВЛИ / Ф. Б. Джумаев, Е. О. Сысоев. / В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре.

4. Михайлова К. А., Сысоев Е. О. УЛУЧШЕННЫЕ ПАРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПЛЕНКИ / К. А. Михайлова, Е. О. Сысоев. / В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы Международной научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 196-199.022. 126-128 с.

УДК 692

Шумкина Полина Максимовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shumkina Polina Maksimovna, student, Komsomolsk-na-Amur State University

Сысоев Олег Евгеньевич, доктор технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Supervisor: Sysoev Oleg Evgenyevich, Doctor of Technical Sciences, Komsomolsk-na-Amur State University

МЕТОДЫ ПРОГРЕВА БЕТОНА В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

METHODS OF HEATING CONCRETE IN WINTER CONDITIONS

Аннотация. Данная статья описывает один из основных методов прогрева бетона в зимних условиях. Основной задачей исследования было исследование метода прогрева бетона, его особенности и универсальность использования под различные зимние условия. Для достижения этой цели были изучены особенности прогрева бетона в зимних условиях.

Annotation. This article describes one of the main methods of concrete heating in winter conditions. The main objective of the study was to investigate the method of concrete heating, its peculiarities and its versatility for different winter conditions. In order to achieve this objective, the features of concrete heating in winter conditions were studied.

Ключевые слова: бетон, зимние условия, прогрев, метод.

Keywords: concrete, winter conditions, heating, method.

В условиях изменения климата и увеличения частоты холодных зим прогрев бетона становится все более востребованной. Он активно используется на строительных площадках, где важно соблюдать четкие сроки и качество работ, особенно при создании таких объектов, как мосты, дороги и крупные здания [1, 2]. В данной статье подробно рассматривается принцип работы одного из методов прогрева бетона: электродный, его преимущества и недостатки, а также практические аспекты применения этой технологии в различных климатических условиях. Кроме того, данная технология позволяет уменьшить потребность в утепляющих материалах и повышение эффективности ресурсопользования [3, 4].

Электродный прогрев бетона — это технология, основанная на пропускании электрического тока через бетонную массу с целью генерации тепла. Этот процесс осуществляется благодаря сопротивлению бетона и других компонентов, входящих в его состав. Электрический ток проходит через бетонную массу, создавая теплоту благодаря электрическому сопротивлению. Вода в бетоне нагревается, что приводит к повышению температуры и способствует активной гидратации цемента. В результате бетон быстрее приобретает необходимую прочность, а риск возникновения трещин и других деформаций снижается. Принцип работы электродного прогрева можно описать следующим образом:

Таблица 6. Технологические процессы прогрева бетона.

Процесс	Описание процесса
Установка электродов	В процессе заливки бетона в него помещаются электроды, которые могут быть выполнены в виде стержней или сеток. Эти электроды соединяются с источником постоянного или переменного тока.
Пропускание электрического тока	Когда электрический ток проходит через бетон, возникает тепловое выделение из-за сопротивления материала. Чем выше плотность тока и сопротивление, тем большее количество тепла выделяется.
Нагрев бетона	Сгенерированное тепло равномерно распределяется по всей массе бетона, что обеспечивает его прогрев. Это помогает поддерживать оптимальную температуру для гидратации цемента, ускоряя процесс твердения и уменьшая риск замерзания воды внутри бетонной смеси.
Контроль температуры	В процессе прогрева используется системы контроля температуры, которые позволяют следить и регулировать уровень нагрева. Это гарантирует, что бетон не перегревается и сохраняет свои качества.
Завершение процесса	После достижения необходимой температуры и срока прогрева электродный ток отключается, и бетон продолжает твердение при естественных условиях.

Электродный прогрев бетона – популярный метод в строительстве при отрицательных температурах, благодаря своей эффективности и скорости. Он не только ускоряет работы, но и положительно влияет на качество и долговечность возводимых конструкций. Вот основные аспекты этого метода:

Таблица 7

Аспект	Описание аспекта
Ускорение процесса твердения	Прогрев бетона с помощью электрического тока значительно сокращает время достижения проектной прочности. Это особенно актуально для строительных проектов с жесткими сроками.
Экономия на материалах	Ускоренное твердение бетона может уменьшить количество материала, необходимого для достижения заданных характеристик, что снижает общие затраты на проект.
Улучшение качества бетона	Эффективный прогрев способствует более равномерной гидратации цемента, что улучшает прочностные характеристики и долговечность конечного продукта.
Гибкость в проектировании	Система электродного прогрева может быть адаптирована для различных типов конструкций и конфигураций, что позволяет использовать ее в самых разных условиях.

Продолжение таблицы 7

Аспект	Описание аспекта
Контроль температуры	Установка датчиков температуры позволяет контролировать процесс прогрева, что снижает риск перегрева и обеспечивает максимальную эффективность и безопасность.
Легкость в установке	Электроды можно легко разместить в опалубке при заливке, не требуя много времени на установку.
Рентабельность	Электродный прогрев наиболее эффективен на крупных строительных объектах, где холодные условия могут значительно задержать выполнение работ.
Снижение трещинообразования	Равномерный прогрев бетона снижает вероятность образования трещин.
Совместимость с другими методами	Сочетание электродного метода с дополнительными процессами, такими как паровая обработка и применение теплоизоляционных материалов, позволяет добиться большей эффективности.

Данный метод прогрева бетона имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 3 приведены некоторые примеры.

Таблица 8 – Достоинства и недостатки метода электродного прогрева бетона

Достоинства		Недостатки	
Ускорение твердения	Прогрев бетона с помощью электрического тока существенно сокращает время достижения проектной прочности, что позволяет активно продолжать строительные работы в зимний период	Энергетические затраты	Прогрев требует значительных затрат электроэнергии, что может увеличить общую стоимость проекта, особенно при длительном прогреве
Поддержание необходимой температуры	Метод позволяет поддерживать оптимальную температуру для гидратации цемента, предотвращая замерзание воды в бетоне	Необходимость оборудования	Для реализации метода необходимо специализированное оборудование (источники тока, электроды и системы контроля), что может потребовать дополнительных вложений
меньшение трещинообразования	Более равномерный прогрев способствует равномерному распределению температуры, что снижает риск появления трещин из-за неравномерного нагрева или охлаждения	Риск перегрева	Неправильная эксплуатация системы может привести к перегреву бетона, что негативно скажется на его структуре и свойствах.
Экономия на материалах	Применение технологии ускоренного твердения бетона может заменить использование дорогостоящих противоморозных добавок, что в конечном итоге приведет к снижению общих затрат на строительный проект.	Зависимость от качества материалов	Электродный прогрев может быть менее эффективен при использовании некачественного или плохо работающего оборудования, а также низкокачественного бетона
Гибкость применения	Метод может быть адаптирован к различным типам конструкций и проектам, что делает его универсальным решением	Совместимость с другими методами	Электродный метод может не сочетаться со всеми технологиями, применяемыми в зимнее время, например, с некоторыми типами термоизоляционных материалов

Продолжение таблицы 8

Достоинства		Недостатки	
Удобный контроль и автоматизация	Использование систем контроля температуры позволяет автоматически регулировать процесс нагрева, что способствует повышению безопасности и эффективности	Потребность в контроле	Необходимость контроля процесса прогрева требует дополнительного внимания со стороны специалистов, чтобы избежать ошибок в процессе эксплуатации

Электрический прогрев – отличный способ ускорить застывание бетона зимой. Однако, прежде чем его использовать, важно учесть возможные проблемы и дополнительные расходы, которые могут возникнуть.

Электродный метод прогрева бетона в зимнее время представляет собой эффективное решение для ускорения процесса твердения и предотвращения негативных последствий, связанных с низкими температурами. Используя электрический ток для нагрева бетона этот метод обеспечивает равномерное прогревание, что способствует улучшению качества конечного продукта и снижает риск возникновения трещин и других деформаций. Преимущества электропрогрева включают в себя сокращение сроков строительства, высокую прочность бетона и экономию на дополнительных материалах и технологиях. Метод требует внимательного контроля за процессом, значительными затратами на электроэнергию и наличием специализированного оборудования. Несмотря на некоторые недостатки, электродный метод прогрева бетона является актуальным инструментом в арсенале технологий зимнего строительства, позволяя эффективно справляться с вызовами, связанными с низкими температурами, и достигать высоких качественных результатов. При условии должной организации процесса и соблюдения всех мер безопасности этот метод может стать оптимальным выбором для многих строительных проектов в зимний период.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малов М.Н., Сысоев Е.О. АКТУАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДОВ НА ВОДЕ/ Малов М.Н., Сысоев Е.О.// В сборнике: Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2024. С. 104-106.

2. Малов М.Н., Сысоев Е.О. РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ / Малов М.Н., Сысоев Е.О.// В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 362-365.

3. Гулиев И.Н.О., Сысоев Е.О. ПРОБЛЕМА СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ НА «ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ ГЕКТАРЕ» / Гулиев И.Н.О., Сысоев Е.О./ /В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 165-168.

4. Евтушенко О.В., Сысоев Е.О. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА/ Евтушенко О.В., Сысоев Е.О.//В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 200-203.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ..... 3
Архипова В. С., Морозова Т. Д., Сергеев В. А., Люхо И. А., Шакирова О. Г.
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНИ-ЗАВОДОВ
ПО ПРОИЗВОДСТВУ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В ЯКУТИИ……. 4
Бей Д. В., Щетинин В. С.
ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ:
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ……..... 7
Бей М. К., Отряскина Т. А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ
ПРОДУКТА В РЕЗЕРВУАРНОМ ПАРКЕ……..……..…..… 10
Бородихин М. В., Отряскина Т. А.
УВЕЛИЧЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНОГО ПЕРИОДА ТЕПЛООБМЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ…….……...… 13
Войтович Роман. А., Бахматов П. В.
ОСОБЕННОСТИ КОРНЕВОГО ДЕФЕКТА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ
АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ БЕЗ ПОДДУВА……..……..…. 17
Дмитриев К. Ю., Белова И. В.
ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ 40Х……..……..... 20
Дмитриев К. Ю., Белова И. В.
ВЛИЯНИЕ УГЛА ВВОДА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ НА ТОЧНОСТЬ
ВЫЯВЛЕНИЯ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН…….…..… 23
Дмитриев К. Ю., Белова И. В.
ИСПЫТАНИЯ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ
И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ……...…. 25
Дмитриев К. Ю., Белова И. В.
КОНТРОЛЬ ЗЕРЕННОЙ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ КАК ФАКТОР
ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ…….…..... 28
Дмитриев К. Ю., Белова И. В.
ТЕРМОДИФФУЗИОННОЕ ЦИНКОВАНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ
НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ИЗДЕЛИЙ……..…… 31
Днепровский Н. А., Отряскина Т. А.
ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ НАСОСНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ……..….... 33
Драпиковский А. П., Кравченко Е. Г.
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОФИЛЬНОЙ
ТОЛЩИНОМЕТРИИ ПРИ КОНТРОЛЕ СТЕНОК АППАРАТОВ
КОЛОННОГО ТИПА…….…..…. 36
Драпиковский А. П., Кравченко Е. Г.
АНАЛИЗ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ТРУБОПРОВОДОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ…….…..... 39
Драпиковский А. П., Кравченко Е. Г.
МЕТОДИКА РАДИОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОФИЛЬНОЙ ТОЛЩИНОМЕТРИИ
ПРИ КОНТРОЛЕ СТЕНОК АППАРАТОВ КОЛОННОГО ТИПА……..... 42
Забейворота И. А., Отряскина Т. А.
ПРОЕКТ КОЛОННЫ ДЕБУТАНИЗАЦИИ ГАЗОФРАКЦИОНИРУЮЩЕЙ
УСТАНОВКИ ООО «ГАЗПРОМ ПЕРЕРАБОТКА БЛАГОВЕЩЕНСК»…….…… 46
Калинин М. А., Отряскина Т. А.
УВЕЛИЧЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНОГО ПРОБЕГА И ПОВЫШЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ……..…..…... 48

Косачев К. Д., Саблин П. А.
КОНЦЕПЦИЯ КИБЕР-ФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ……... 52
Космынин А. А., Щетинин В. С.
ВЛИЯНИЕ ДОЛИ ПОРИСТОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ С ПОРИСТЫМИ ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ РАСХОДА……..…..... 55
Кравченко А. К., Кравченко Е. Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КОЛОННЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСАДОЧНЫХ МОДУЛЕЙ……..…….…… 57
Кравченко А. К., Кравченко Е. Г.
МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСАДОЧНЫХ МОДУЛЕЙ НА ПРОМЫШЛЕННОМ СТЕНДЕ……..…… 61
Кравченко А. К., Кравченко Е. Г.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ В СРЕДЕ LABVIEW……..…… 65
Кравченко В. В., Серебренникова А. Г.
ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ХРОМОНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВОЙ СТАЛИ АК25-ПК…... 68
Кшевина А. Н., Щелкунов Е. Б.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ШТУЦЕР» С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ……..... 71
Лазарева Е. П., Григорьев В. В.
ПРИЧИНЫ НЕВЫЯВЛЕНИЯ НЕПРОВАРА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ СПЛАВА ВТ23, ВЫПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ……..... 75
Лысикова И. С., Белова И. В.
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ……..……. 78
Морозов Н. С., Григорьев В. В.
ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТЫКУЕМЫХ КРОМОК ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ23 НА ПОРООБРАЗОВАНИЕ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ…..…… 81
Морозова Т. Д., Шакирова О. Г.
ПЕРЕРАБОТКА ХВОСТОВ СОРБЦИОННОГО ЦИАНИРОВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ……..……. 84
Намоконов А. Н., Сысоев О. Е.
ВЫБОР И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ……..……..…… 87
Орлова Л. В., Щелкунов Е. Б.
АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ……..…….……. 90
Поправко Д. Г., Григорьев В. В.
РАЗНОВИДНОСТЬ СПОСОБОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ УПРОЧНЯЕМЫХ И НЕУПРОЧНЯЕМЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ……. 93
Сергеев В. А., Шакирова О. Г.
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВАНАДИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ……....…. 97
Симонов А. А., Серебренникова А. Г.
РАЗРАБОТКА МОДИФИКАЦИЙ КОЛЕННОГО РОЛЛАТОРА……. 99
Табаков Е. В., Серебренникова А. Г.
НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ 12Х18Н10Т: ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ……....……... 103

Фью С. А., Башков О. В.
МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 15-5 РН НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ…….. 106
Чжао Ц., Люй Л., Башков О. В.
АНАЛИЗ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 5052 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ……..… 108
Чжо З. О., Башков О. В., Фью С. А., Янченко М. И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 15-5 РН ПРИ АСИММЕТРИЧНОМ НАГРУЖЕНИИ…….. 112
Шабалин А. М., Серебренникова А. Г.
МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕМОНТА ПОВРЕЖДЕНИЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ……..…….. 116
Шанин Р. С., Григорьев В. В.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДУГОВЫХ АДДИТИВНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ……..……..….. 120
СЕКЦИЯ. ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ……..……. 124
Абрамов А. А., Щетинин С. И., Иванов С. Н.
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭЛЕМЕНТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, КОММУТАЦИОННЫХ И ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ…..... 125
Азимов Х. Х., Ашрафджонзода Ш.
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КПД ПРИВОДОВ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ…….…….….. 129
Аржанников Е. И., Сухоруков С. И.
АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ ГЕРМЕТИКА ДЛЯ ЗАДАЧ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ…..….. 131
Ашрафджонзода Ш., Сухоруков С. И.
АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ РОБОТА KUKA LBR IIWA 7 R800……..…….….. 135
Ашрафджонзода Ш., Сухоруков С. И.
ПРЯМАЯ ЗАДАЧА КИНЕМАТИКИ КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА…….…… 137
Баранова А. А., Демидов И. А., Егоров В. А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ……..…….…..…… 141
Башков Д. А., Сериков А. В.
ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ БЛОКОМ……..……..……. 143
Бобровский Н. П., Горькавый А. И.
ФОРМИРОВАНИЕ МОДАЛЬНОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА В КОНТУРЕ СКОРОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА……. 146
Бутко В. П., Кузьмин Р. В.
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА В КАЧЕСТВЕ БАЛЛАСТНОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ МИКРОГЭС……..……..….. 149
Бутрамеева О. А., Егоров В. А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ…….……..... 152
Верстин Н. А., Глазкова В. В.
УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ СФЕРЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПОЗИЦИИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ……... 155
Войтович А. Р., Зайченко И. В.
ВОЗМОЖНОСТИ КАСТОМИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ДЕТЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ……..…..…….. 158

Ворощенко В. Д., Кучерова А. И.
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ И МЕТОДОВ СЛИЯНИЯ СЕНСОРОВ……..……...…. 162
Геращенко В. В., Горькавый А. И.
АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМ МОДУЛЕМ……..…. 165
Горовой А. Н., Марущенко С. Г.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМ КОЛЛЕКТОРОМ……. 167
Грабарь Д. М., Мельниченко М. А.
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОЛЛАБОРАТИВНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА……. 171
Грищенко Ф. В., Савельев Д. О.
АНАЛИЗ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ…… 174
Давлетов С. М.
МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ МОСТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ……..... 177
Деркач И. Ю., Сухоруков С. И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОБОТОМ ОСНАСТКИ С ДЕТАЛЬЮ……..…….. 180
Дмитриенко А. С., Стельмащук С. В.
ОЦЕНКА ТОКА В ЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ……..……...…..…. 182
Едич М. А., Горькавый А. И.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ МОДУЛЯМИ С ПОДСИСТЕМАМИ САМОНАСТРОЙКИ И ИНВАРИАНТНОСТИ……..……..... 185
Житников А. А., Зайченко И. В.
ВНЕДРЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОКЛЮДЕРОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ……... 188
Захаров З. В., Стельмащук С. В.
МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕНТИЛЬНОГО НЕЯВНОПОЛЮСНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ……...…….…... 191
Зубарев И. П., Сериков А. В.
ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ НАГРУЗОК…….…. 193
Иванов В. В. Сериков А. В.
ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА РАЗМЕРЫ БЛОКА ТЕПЛООБМЕНА……... 196
Иванюта Я. С., Бородин М. А. Сухоруков С. И.
СОЗДАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧПУ СПОСОБОМ ЛАЗЕРНОГО ВЫЖИГАНИЯ……..……..……... 199
Кенджазода Х. Х., Егоров В. А.
АРХИВИРОВАНИЕ ДАННЫХ В ПАНЕЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРАХ ФИРМЫ ОВЕН……... 202
Клопов А. Н., Любушкина Н. Н., Солецкий В. В.
СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСРЕДНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА КОНВЕРТОПЛАННОГО ТИПА……..…. 204
Кравец А. В., Копытов С. М.
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДВОДНОГО ВЫТЯЖЕНИЯ ПОЗВОНОЧНИКА……..…….…. 208

Кривенькая Ю. А., Кузнецова О. Р.
К ВОПРОСУ ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ…… 211
Кряжев А. А., Кузьмин Р. В.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО УЧАСТКА…… 214
Кужель А. А., Марущенко С. Г.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ АНАЛОГОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ «ANADIGM»…… 217
Кучерова А. И., Ворощенко В. Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРЕДПРИЯТИЯ…… 221
Лакеев И. Ю., Стельмащук С. В.
РАЗРАБОТКА НАБЛЮДАТЕЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ МОМЕНТА УПРУГОСТИ В МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА…… 224
Локтионов Г. А., Копытов С. М.
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХКАНАЛЬНОГО ЦАП TLV5618 С ИНТЕРФЕЙСОМ SPI В СРЕДЕ LABVIEW LINX…… 227
Лысяков И. А., Копытов С. М.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМОЙ НА ОСНОВЕ МИНИКОМПЬЮТЕРА RASPBERRY PI…… 231
Лысяков И. А., Копытов С. М.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСШИРИТЕЛЯ ПОРТОВ MCP23017 СОВМЕСТНО С МИНИКОМПЬЮТЕРОМ RASPBERRY PI ПРИ ПРОГРАММИРОВАНИИ НА LABVIEW…… 234
Ляпин В. В., Табаров Б. Д., Соловьев В. А.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ LC-ФИЛЬТРА НА РАБОТУ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И ГОРОДСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ…… 236
Маслов В. И., Куделько А. Р.
МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ И ВЕДЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АСУТП И АСУП ВКЛЮЧАЯ БАЗЫ ДАННЫХ И МЕТОДЫ ИХ ОПТИМИЗАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ…… 240
Мельникова С. Е., Горькавый А. И.
КОМБИНИРОВАННОЕ МОДАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ АСТАТИЗМА В СИСТЕМЕ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ…… 243
Минебаев Н. Л., Горькавый А. И.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РОСТА МОМЕНТА ИНЕРЦИИ НА ПИКОВЫЙ ТОК В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ С МОДАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ…… 246
Никонова Д. П., Савельев Д. О.
ПРИМЕНЕНИЕ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ…… 249
Носков А. О., Егоров В. А.
РАЗРАБОТКА ЗАДАТЧИКА «ДЕНЬ-НОЧЬ» ДЛЯ ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ…… 253
Пизелкин И. М., Любушкина Н. Н.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ…… 255

Прохоров Р. Ю., Кателкин А. С., Егоров В. А.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЯЧЕЙКИ СКЛАДА МЕХАНОСБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА……...…...… 258
Пухов А. А., Черный С. П.
ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПРИ РАБОТЕ НА ЧАСТИЧНОЙ НАГРУЗКЕ И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ……...……...…… 262
Романова М. К., Скрипилев А. А.
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (АИИС КУЭ) ВНЕДРЕННОЙ В МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ КОМСОМОЛЬСКОГО РАЙОНА…….……. 265
Савельева А. С., Осипова Е. Д., Савельев Д. О.
ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ……..…….. 267
Сафарова Н. Ш., Копытов С. М.
РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АППАРАТА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ……..……..…… 271
Сбитнев Н. Р., Черный С. П., Савельев Д. О.
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ДРОНОВ…….…….. 273
Сбитнев Н. Р., Савельев Д. О.
МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ ГЬЮ-СТЮАРТА ОСНОВАННОЙ НА ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ПРИВОДАХ…….…..... 276
Семёнов Н. Ю., Савельев Д. О.
ОБЗОР КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ……. 279
Сироджов А. И., Янченко А. В.
ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ……..……... 281
Соколова В. С.
КОНТЕКСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ……....……. 285
Солецкий В. В.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТОМОТОРНОЙ ГРУППЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ…….……... 287
Табаров Б. Д., Соловьев В. А.
КОМПЕНСАЦИЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НОВЫМ РЕАКТОРНО-ТИРИСТОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ……... 289
Тишкина Е. А., Янченко А. В.
ВОПРОСЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ГЛАВНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АМУРСКОЙ ТЭПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ - ТЭЦ-1…….….. 293
Франчук В. С., Петухов А. В.
РАЗРАБОТКА РАДИОЧАСТОТНОГО АНАЛИЗАТОРА КОРОННОГО РАЗРЯДА…….…….. 297
Фёдоров А. В., Макашева С. И.
РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ВЫЗОВЫ……..….. 299
Хидиров Ё. Б., Копытов С. М.
РАЗРАБОТКА ТЕРМОСТАТА ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ……... 302

Цыкунова А. А., Сериков А. В.
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА
ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОМ НАГРЕВЕ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКЕ..... 304
Шевкунова А. В., Ольховатов Д. В.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТИРИСТОРНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ……..….... 307
Шушарин Н. С., Сухоруков С. И.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ
3D-ПЕЧАТИ…… 311
Яненко А. В., Соловьев В. А.
К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
«КЛИЕНТ – УМНЫЙ ДОМ»……..……. 315
**СЕКЦИЯ. ТРАНСПОРТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС,
АВИАЦИОННАЯ И МОРСКАЯ ТЕХНИКА**…….. 318
Абдираимов Б. Э., Хвостиков А. С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ТЭЦ……...…….…… 319
Акайкин В. А., Бурменский А. Д.
АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОЦЕЛЕВЫХ
СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ ПРОЕКТА «SUPER GREEN»……. 322
Аксёнова О. С., Бурменский А. Д.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА…….……...…….. 325
Барашнин А. М., Баранов Е. В.
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ
ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДОГРЕВА СЕТЕВОЙ
ВОДЫ ТЭС……..……...… 329
Берников Д. А., Хвостиков А. С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО
ЦИКЛА РЕНКИНА В СОСТАВЕ…….……... 333
Боровской С. А., Лозовский И. В.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ КРЫЛА
НА ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОРАЗМЕРНОГО
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……... 336
Бренер В. Р., Терейковский С. В.
ИННОВАЦИИ В ЛОГИСТИКЕ ЗЕРНА: ФГК ВНЕДРЯЕТ КОНТЕЙНЕРНЫЕ
ПЕРЕВОЗКИ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ…….…… 339
Бурский С. С., Бурменский А. Д.
АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ РАЗВИТИЯ ПАРУСНОГО ВООРУЖЕНИЯ СУДОВ……. 342
Волков Р. В., Кривенко М. Ю.
СТАТИСТИКА АВИАКАТАСТРОФ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
ЗА ПОСЛЕДНИЕ 30 ЛЕТ…….…… 346
Гой О. А., Айрих И. И., Порядочная К. В., Журбина И. Н.
ВНЕДРЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОЦЕСС
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПРОФИЛЬНОГО ПРОКАТА…….…… 348
Загородний А. Е., Марьин С. Б.
ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ОТЪЕМНОЙ ЧАСТИ КРЫЛА САМОЛЕТА
С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ…….…….... 350
Казанцев Д. В., Кириченко В. В., Бурменский А. Д.
КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТА МАЛОГАБАРИТНОЙ БУКСИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ОПЫТОВОГО БАССЕЙНА КНАГУ…….…….…… 353
Клюшин К. Н., Баранов Е. В.
ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА
В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ……...…….……... 357

Кривенко М. Ю., Бобков А. В.
МОМЕНТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ…….. 360
Левченко В. С., Бормотин К. С.
РАСЧЁТ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЗАЖИМА НА ОБТЯЖНОМ ПРЕССЕ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ В MSC.MARC…….. 364
Лозовский И. В., Марьин С. Б.
ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СБОРКЕ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ…….. 367
Ло Чэнчжао, Морозова О. А., Журбина И. Н.
ОБЗОР CAD-СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СУДОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ……..… 369
Лю Вэньмин, Каменских И. В.
СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ КИТАЯ……..…..……. 372
Мананников Д. М., Баранов Е. В.
ОСОБЕННОСТИ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА В СОВРЕМЕННОМ ГИБРИДНОМ АВТОМОБИЛЕ……..…..……. 375
Митрофанов Н. А., Кириакиди С. К.
ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ КРЫЛА СКВП ОТ ВЕЛИЧИНЫ И УГЛА ПОВОРОТА СТВОРКИ НИЖНЕЙ СДВИЖНОЙ ПАНЕЛИ ЗАКРЫЛКА ПРИ ПОСАДКЕ……..…… 378
Митрофанов Н. А., Кириакиди С. К.
ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОВОРОТНОЙ ХВОСТОВОЙ ЧАСТИ ПОДВИЖНОЙ ПАНЕЛИ ЗАКРЫЛКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ ОТКЛОНЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ЩИТКА НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ КРЫЛА СКВП ПРИ ВЗЛЁТЕ……..…... 381
Мясников А. А., Попов А. Ю.
ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПАРЦИАЛЬНОСТИ НА КПД ЦИЛИНДРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ Т-100-130……..…… 384
Пашкевич В. И., Смирнов А. В.
СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ…..... 386
Петрушин А. М., Старостин К. А., Коваленко Ю. В.
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И АТОМНЫХ ПЛАВУЧИХ СТАНЦИЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ……..……..…… 389
Потапов А. А., Госьков М. О.
ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА АНДОН ДЛЯ РАНЖИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ…….……... 392
Ротормель О. Ю., Попов А. Ю.
РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ РАБОТЫ ТРУБОПРОВОДА В ПРОГРАММЕ HYSYS…..… 396
Семенова В. А., Гунькова О. В.
ОБЗОР ИННОВАЦИОННЫХ ВАГОНОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ…….…... 398
Стёпина К. А., Наумова Т. В.
ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОСЛЕПРОДАЖНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РОССИЙСКИХ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЁТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ…….…… 401
Слепченко А. С., Шаломов В. И.
ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СПОСОБА ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ КОМСОМОЛЬСКОЙ ТЭЦ-2……..……..... 404
Тхет Лин, Андрианов И. К., Феоктистов С. И.
ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ АВТОФРЕТИРОВАНИИ……..……...…… 407

Федоров В. Е., Потянихин Д. А.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ФИКСАЦИИ КРОНШТЕЙНА ГИДРОЦИЛИНДРА ПРИ СБОРКЕ КЕССОНА В СТАПЕЛЕ…..….. 409
Чеботарь Э. А., Логинова К. А., Хасанова Р. Ш., Ковалёва С. И., Терейковский С. В.
АЛЬТЕРНАТИВА: ГРУЗОПЕРЕВОЗКИ МЕЖДУ ПРИМОРЬЕМ И ЧУКОТСКИМ АВТОНОМНЫМ ОКРУГОМ……..……. 412
Чепурнова Е. К., Андрианов И. К., Буренин А. А., Феоктистов С. И.
К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛООТВОДА В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК ДЕФЛЕКТОРНОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ…….…….. 416
Чепурнова Е. К., Андрианов И. К.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АВТОФРЕТИРОВАНИЯ И АВТОФРЕТИРОВАНИЯ ДОРНИРОВАНИЕМ…….…… 418
Шерстюк А. И., Казанцев Д. В., Кириченко В. В., Бурменский А. Д.
РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ КОРПУСОВ СУДОВ ДЛЯ ОПЫТОВОГО БАССЕЙНА КНАГУ……..….. 421
Щербина Ю. В., Марьин С. Б.
ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ МОНТАЖНЫХ РАБОТАХ…….…. 425
СЕКЦИЯ. СТРОИТЕЛЬСТВО…….…… 429
Бакланов В. В., Сысоев О. Е.
СТРОИТЕЛЬСТВО ЗАЩИТНЫХ ДАМБ НА Р. АМУР…….…….. 430
Баланёв Д. А., Сысоев О. Е.
ПЕРЕКРЫТИЯ: ТИПЫ, МАТЕРИАЛЫ, ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ…. 432
Бедина П. В., Рубашова В. А., Козлович В. Д., Катунцева Н. Л.
ИННОВАЦИОННЫЕ БЕЗОПАСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА…….……...…...…… 435
Бедина П. В., Журавлева Е. В.
СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ…. 438
Бондарь М. Д., Сысоев О. Е.
АНАЛИЗ РЫНКА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОДАВАЕМОГО НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ……..…….. 442
Волошина Е. О., Дзюба В. А.
РАСЧЕТ КРИВИЗНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СЕЧЕНИЙ ДИАГРАММНЫМ МЕТОДОМ……..……...…… 444
Волошина Е. О., Дзюба В. А.
РАСЧЕТ ПЕРЕАРМИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СЕЧЕНИЙ ДИАГРАММНЫМ МЕТОДОМ……..……...….. 447
Дементьев Д. И., Шагина В. А., Скворцов А. Д.
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ…….…… 449
Днепровский Н. А., Журавлева Е. В.
МЕТОДЫ ПРОГРЕВА БЕТОНА В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ…… 453
Дорошенко Э. Н., Катунцева Н. Л.
РАСЧЕТ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИИ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ……....…….. 457
Ельчеков Я. В., Сысоев О. Е.
КРОВЛИ: ЗАЩИТА ОТ НЕПОГОДЫ И ЭЛЕМЕНТ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА…… 459
Журавлев Ю. В., Сысоев О. Е.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ: РОЛЬ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА……...… 462
Журавлев Ю. В., Сысоев О. Е.
СУЩЕСТВУЮЩИЕ ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ: АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ…….……...…… 466

Зорин И. А., Журавлева Е. В.
ФУНДАМЕНТ - ОСНОВА ЗДАНИЯ: ТИПЫ, УСТРОЙСТВО И НАЗНАЧЕНИЕ…… 468
Колчев Н. М., Дементьев Д. И., Божков Н., Бандровский С. С.
ОЦЕНКА УРОВНЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ…..…. 471
Козлович В. Д., Журавлева Е. В.
ЭФФЕКТИВНЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ…….…...…… 474
Кононов Д. А., Сысоев Е. О.
УСТРАНЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ……..……. 477
Крапивный Р. Б., Сысоев Е. О.
ДОСТОИНСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА……..……...….. 479
Красный Н. С., Сысоев О. Е.
СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ……..……...… 481
Кузнецов М. К., Журавлева Е. В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:
АРМАТУРА……..……..…… 483
Лесников Д. А., Сысоев Е. О.
ОКНА И ДВЕРИ: ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И ДОСТУПА
В ЗДАНИЕ……..……...….. 486
Мажитова Ю. Н., Журавлева Е. В.
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ……...……...…… 489
Малиновская В. К., Сидорова П. М.
РОЛЬ ОБСЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ……...…… 491
Миронов Д. Н., Сысоев О. Е.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРФОРАТОРОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ… 495
Михайлова С. С., Трекин Н. Н., Терехов И. А.
КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ В ЕВРОПЕЙСКОМ СОЮЗЕ, США И КИТАЕ…… 498
Михайлова С. С., Трекин Н. Н., Терехов И. А.
КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ В СТРАНАХ СНГ……..……...… 501
Монин Е. А., Сысоев О. Е.
БУДУЩЕЕ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ……..……..….. 505
Нагорная С. Д., Цветков О. Ю.
СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ БЕТОНОВ……...… 507
Надёжкин М. Е., Сысоев О. Е.
ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК……..……...….... 510
Натаров Д. В., Бочановский Д. А.
РАЗВИТИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В АРМАТУРЕ……..…… 513
Никулина Е. Е., Сысоев Е. О.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В СТРОИТЕЛЬСВТВЕ…….. 516
Овчаренко В. А., Сысоев О. Е.
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УМНОГО ДОМА……..……...….... 517
Овчаренко В. А., Сысоев О. Е.
СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВАНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.… 520
Овчаренко В. А., Шильников Д. Е., Сысоев Е. О.
АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
«АВТОСАЛОНА»……..…. 522

Овчаренко В. А., Колоколов В. В., Яровенко Б. Д., Сысоев Е. О.
АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
«ЖИЛОГО 16-ЭТАЖНОГО ДОМА»……..……..... 525
Пильков А. П., Журавлева Е. В.
ВИДЫ И СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ
В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОСТРУКЦИЯХ……. 528
Пономарёва А. С., Журавлева Е. В.
СТЕНЫ: ОГРАЖДАЮЩИЕ И НЕСУЩИЕ − МАТЕРИАЛЫ,
КОНСТРУКЦИИ, ФУНКЦИИ……. 531
Рубашова В. А., Бедина П. В., Козлович В. Д., Катунцева Н. Л.
ТЕОДОЛИЧЕСКАЯ СЬЕМКА И ФИКСИРОВАНИЕ ВЕРТЕКАЛЬНЫХ
ОПОР МЕСТНОСТИ……..……...…… 534
Рубашова В. А., Бедина П. В., Козлович В. Д., Катунцева Н. Л.
ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
В ПРОЕКТИРОВАНИИ……..……...…… 537
Сорокин Д. В., Сысоев Е. О.
СТЕНОВЫЕ СИСТЕМЫ: ПРОСТОТА И НАДЁЖНОСТЬ…….. 540
Трохова Д. Д., Журавлева Е. В.
СОВРЕМЕННЫЕ МОНОЛИТНЫЕ ПУСТОТНЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ…….…... 543
Ширяева А. А., Дзюба В. А.
АНАЛИЗ ПОЛНЫХ ДИАГРАММ СЖАТИЯ БЕТОНА С ПОПЕРЕЧНЫМ
АРМИРОВАНИЕМ…….……..…… 546
Шмаков А. А., Сысоев Е. О.
МЕТОДЫ ПРОГРЕВА БЕТОНА В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ…….……..….. 549
Штарк Р. А., Сысоев Е. О., Сысоев О. Е.
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КРОВЛИ
В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ…….……..…. 553
Шумкина П. М., Сысоев О. Е.
МЕТОДЫ ПРОГРЕВА БЕТОНА В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ……..……. 555

Научное издание

МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Часть 1

Материалы VIII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных
Комсомольск-на-Амуре, 07-11 апреля 2025 г.

Ответственный редактор А. В. Космынин

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 03.06.2025.
Формат 60×84 1/16. Бумага 65 г/м2. Ризограф RISO EZ 570E.
Усл. печ. л. 33,13. Уч.-изд. л. 33,07. Тираж 100 экз. Заказ 31319.

Редакционно-издательский отдел
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»
681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.