




# **МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Часть 1

Материалы VII Всероссийской национальной научной  
конференции молодых учёных  
Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2024 г.



Комсомольск-на-Амуре  
2024

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 VII Всероссийской национальной научной конференции  
молодых учёных  
Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2024 г.

Комсомольск-на-Амуре  
2024

УДК 001  
ББК 95.4  
М754

*Рецензент* – Козин Виктор Михайлович,  
главный научный сотрудник Института  
машиноведения и металлургии, ХФИЦ ДВО РАН,  
д-р техн. наук, профессор

*Редакционная коллегия:*

Ответственный редактор – проректор по НР,  
д-р техн. наук, проф. А. В. Космынин;  
ответственный секретарь – Т. Н. Шелковникова;  
технический секретарь – Н. А. Жалдак

**Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных  
М754 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. – 561 с.

ISBN 978-5-7765-1582-8 (Ч. 1)  
ISBN 978-5-7765-1581-1

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 978-5-7765-1582-8 (Ч. 1)  
ISBN 978-5-7765-1581-1

© ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2024

**СЕКЦИЯ**

**МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

УДК 621.10

Акулина Александра Анатольевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Akulina Alexandra Anatolevna, student of 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 МЕТОДОВ 3D-ПЕЧАТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИЗГОТОВЛЕНИЮ ДЕТАЛИ КАЧАЛКА**

### **ANALYSIS OF 3D PRINTING METHODS IN APPLICATION TO THE MANUFACTURE OF THE ROCKING PART**

Аннотация. В работе произведен анализ трех методов аддитивного производства - селективное лазерное сплавление (SLS), выборочное лазерное плавление (SLM) и прямое лазерное спекание металлов (DMLS) на предмет возможности их применения для изготовления детали качалка. Все рассмотренные методы при соблюдении последовательности выполнения этапов построения изделия и его постобработки могут быть применены для изготовления заготовки детали качалка.

Abstract. The work analyzes three additive manufacturing methods - selective laser fusion (SLS), selective laser melting (SLM) and direct metal laser sintering (DMLS) for the possibility of their use for the manufacture of pumping parts. All the methods considered, if the sequence of stages of product construction and its post-processing are followed, can be used to manufacture a blank rocker part.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, постобработка, металлический порошок, спекание.

Key words: additive technologies, 3D printing, post-processing, metal powder, sintering.

#### **Введение**

В настоящее время аддитивные технологии все больше внедряются в производственные процессы большинства отраслей хозяйства. Их преимущества перед традиционной обработкой резанием - возможность изготовления изделий высокой геометрической сложности с высокой скоростью, высокий коэффициент использования материала.

Одной из отраслей, где внедрение аддитивных технологий наиболее перспективно, является авиастроение. Детали самолетов изготавливаются из специфических материалов (алюминиевые, титановые сплавы, легированные стали), имеют сложную геометрическую форму, насыщенную элементами, облегчающими конструкцию и усложняющими их обработку. Все это делает такие детали нетехнологичными в изготовлении традиционными методами механической обработки.

На сегодняшний день существуют различные методы 3D-печати металлическими материалами, отличающиеся главным образом способом формирования слоев для создания объекта [1, 2, 3].

В работе рассмотрены методы 3D-печати применительно к изготовлению детали «качалка».

#### **Основная часть**

Деталь качалка (рисунок 1) входит в сборочную единицу «Система подвода воздуха к ВСУ» и является частью узла для соединения между собой деталей типа рычагов. Материал детали – жаропрочный сплав АК4-1Т1 ОСТ 1 90073-85. Механические свойства:  $\sigma_B$  не менее 380 МПа;  $\sigma_{0.2}$  не менее 310 Н/мм<sup>2</sup>;  $\delta_5$  не менее 6 %. Размеры де-

тали составляют 46x31x30 мм. Деталь имеет сложную геометрическую форму. Предъявляются высокие требования к взаимному расположению плоскостей и отверстий, к точности отверстий (7 квалитет) и шероховатости поверхностей (Ra 1,6 мкм).

В базовом технологическом процессе изготовления детали ее изготавливают из штампованной заготовки со штамповочными уклонами 5°. Хотя заготовка имеет размеры, близкие к размерам готовой детали, коэффициент использования материала составляет всего 0,18. Из-за низкого коэффициента использования материала деталь не является технологичной.

#### **Основная часть**

Для 3D-печати металлами применяются порошковые металлы и сплавы. Порошковая металлургия России производит специальные металлические порошки, пригодные для изготовления изделий методами аддитивных технологий. Распространение получили порошки алюминиевых сплавов марок AlSi10Mg, AlSi7Mg, AlSi9Cu3, AlSi12 и др. Наиболее близким по составу и свойствам аналогом сплаву АК4-1Т1 является порошковый сплав AlSi10Mg.

Для изготовления изделий из металлов и сплавов наибольшее распространение получили методы SLS – селективное лазерное сплавление, SLM – выборочное лазерное плавление и DMLS – прямое лазерное спекание металлов. Отличие между этими методами заключается в способе сцепления частиц металлического порошка при изготовлении изделия.

Алюминиевые порошки относятся к группе пиро- и взрывоопасных материалов. Поэтому работа с алюминиевыми порошками (особенно когда порошки подвергаются нагреву лазером) требует повышенного внимания к соблюдению правил пожарной безопасности. Перед SLM и SLS алюминиевые порошки должны подвергаться предварительной дегазации для удаления из них воды и водорода [4]. Это снижает опасность взрыва в камере построения и делает процесс построения изделия более управляемым.

В процессе селективного лазерного сплавления металлический порошок в месте воздействия лазером разогревается до температуры свыше 600 °С. Из-за возникающего градиента температур в материале и его неравномерного температурного расширения в изделии возникают большие внутренние напряжения, способствующие образованию трещин. Поэтому, изделия, получаемым методом SLS, требуется упрочняющая термобработка.

Высокая температура нагрева, приближающаяся к температуре плавления алюминия, приводит к испарению алюминия и других легкоплавких элементов сплава с поверхности будущего изделия. [5]

SLM – это самый распространенный метод 3D-печати металлом, позволяющий достаточно быстро изготавливать изделия сложной формы. Из-за полного расплавления материала при его затвердевании обеспечивается плотность до 99,99%, что придает изделию механические свойства, сопоставимые с получаемыми традиционной обработкой резанием. Однако детали при затвердевании и остывании склонны к усадке и температурной деформации, что требуется учитывать при создании 3D-моделей. Из-за деформации изделия, как правило, требуют последующей механической обработки.

DMLS наилучшим образом подходит для изготовления металлических изделий сложной геометрической формы с высокой точностью и качеством поверхностей. Процесс схож с SLS и отличается тем, что в качестве материала изделия здесь используют металлические порошки с добавлением связующего вещества с температурой плавления несколько ниже, чем у основного материала. После спекания изделие должно быть подвергнуто повторному спеканию, горячему прессованию или вторичному насыще-

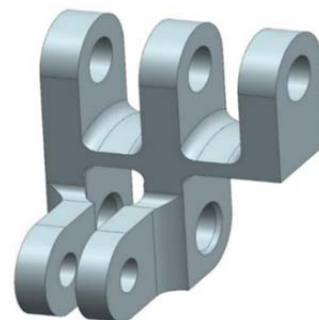


Рисунок 1 - деталь  
"Качалка"

нию связующим веществом для придания изделию высокой прочности и стойкости к динамическим нагрузкам. [5]

При изготовлении изделий с нависающими частями методами DMLS и SLM требуется построение поддержек, что усложняет процесс и снижает коэффициент использования материала. Для SLS поддержки не требуются.

### **Заключение**

Все рассмотренные методы позволяют строить изделия сложной геометрической формы с пазами и отверстиями, присущими детали качалка. При соблюдении последовательности выполнения этапов построения изделия и его постобработки все перечисленные методы могут быть применены для детали качалка. Однако, качалка является ответственной деталью с высокими требованиями по точности и шероховатости, достижения которых невозможно добиться ни одним из рассматриваемых методов 3D-печати, а только путем окончательной обработки резанием. Поэтому применительно к качалке эти методы могут быть применены в качестве методов получения заготовки для последующей механической обработки.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Жуков, Г.А. Разработка конструкции и технологии изготовления сопла эжектора / Г. А. Жуков, А. И. Пронин // 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. 54-57. – EDN CDMLOB.

2. Данилов, Д.А. Изготовление детали станка для скручивания нагревательных спиралей с применением аддитивных технологий / Д. А. Данилов, В. В. Куриный // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов : материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 09–20 апреля 2018 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2018. – С. 36-38. – EDN UUKBZS.

3. Мойсеев, С.С. Получение заготовок с использованием аддитивных технологий. Дуговая наплавка / С. С. Мойсеев, М. М. Хабибов, П. В. Бахматов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 112-115. – DOI 10.17084/978-5-7765-1474-6-2021-112. – EDN WRHRNZ.

4. Литвинцев, А.И. Перспективы применения алюминиевых порошковых сплавов для изготовления деталей по аддитивной технологии // Технология легких сплавов. 2015. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-alyuminievyh-poroshkovyh-splavov-dlya-izgotovleniya-detaley-po-additivnoy-tehnologii> (дата обращения: 01.04.2024).

5. Селективное лазерное сплавление алюминиевых сплавов (обзор) / Н. В. Дынин, А. О. Иванова, Д. В. Хасиков, М. С. Оглодков // Труды ВИАМ. – 2017. – № 8(56). – С. 2. – DOI 10.18577/2307-6046-2017-0-8-2-2. – EDN ZCOSGT.

УДК 621.791.011

Белоусов Сергей Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Belousov Sergey Viktorovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бахматов Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологии сварочного и металлургического производства имени 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

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРКИ СВАРНЫХ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **ENSURING THE ACCURACY OF ASSEMBLY OF WELDED SHIPBUILDING STRUCTURES**

Аннотация. В работе реализован способ автоматической сварки под слоем флюса плоских листовых конструкций по методу, описанному в патенте RU №2557041, авторами которого являются студенты и сотрудники кафедры ТСМП им. В.И. Муравьева. Разработан экспериментальный стенд для применения данного способа на производстве, применительно к стыковым соединениям тонкостенных плоско-габаритных судостроительных конструкций, позволяющий существенно снизить уровень сварочных деформаций, обеспечить точность собираемых конструктивных корпусных элементов, исключить дополнительные операции подгонки и правки.

Abstract. The work implements a method for automatic welding of flat sheet structures under a layer of flux according to the method described in patent RU No.2557041, the authors of which are students and employees of the V.I. Muravyev TSMP Faculty. Experimental equipment has been developed for the application of this method in production, in relation to butt joints of thin-walled flat-dimensional shipbuilding structures, which allows to significantly reduce the level of welding deformations and ensure the accuracy of assembled products, eliminate additional fitting, straightening and straightening operations.

Ключевые слова: дуговая автоматическая сварка, программное управление, бездеформационное сварное соединение, сварочный стенд.

Key words: automatic arc welding, software control, deformationless welding joint, welding stand.

#### **Введение**

Кораблестроение является единственной отраслью современного машиностроения, в создании объектов которой, в общем объеме производства, преимущественно используется дуговая сварка. Применение сварочных технологий не исключает деформирование и коробление как отдельных сборочных единиц, так и корпуса судна в целом и требует значительных временных и материальных затрат на их исправление (рихтовка, обмеры, правка, подгонка, контроль и т.п.), увеличивающие производственный цикл и себестоимость изделия [1, 2]. Разработка и практическое применение производственных технологий бездеформационной сварки является приоритетной задачей современного судостроения.

#### **Основная часть**

Известен способ бездеформационной сварки стальных конструкций [3] в основу которого заложена идея исключения последовательного роста внутренних напряжений в кристаллизующемся металле по мере формирования сварного шва, путем недопущения



ния его охлаждения ниже температуры полиморфного превращения (определяемую для каждого сплава отдельно, лучше для каждой партии полуфабриката) по всей длине за счет аккумуляции тепла сварочной ванны и подогрева остывающих участков посредством нагревательных керамических ковриков, управляемых электронной системой с обратной связью. Такой подход существенно снижает скорости охлаждения кристаллизующегося металла сварочной ванны, не вызывает образование закалочных структур в виде игольчатых бейнита и сорбита и гарантирует прохождение перлитного превращения во всем объеме сформированного сварного шва. В ходе сварки происходит изотермический отпуск всего сварного шва, релаксация напряжений, исключая деформацию изделия. Введение дополнительной тепловой энергии позволяет увеличить скорость сварки, либо толщину соединяемых деталей не форсируя режимы сварки, а применение керамических формирующих подкладок перейти с двухсторонней (традиционной), требующей раскрепления и кантовку узла [4], на одностороннюю сварку без раскрепления.

Практическое применение описанного способа на опытных образцах ограниченного размера проведена на кафедре ТСМП им. В.И. Муравьева [5], а для производственного применения создавалась необходимость разработки сварочного стенда.

Спроектированный стенд (рисунок 1) представляет собой рамную конструкцию, имеющую съемные передвижные модули (рисунок 2).

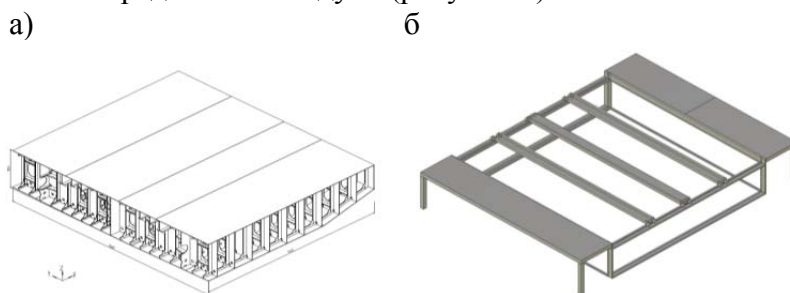
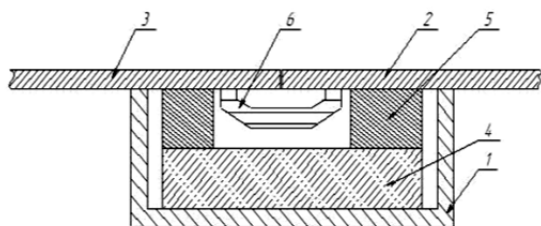


Рисунок 1 – Секция понтона (а) и стенд для сварки настила секции (б)

Передвижные модули имеют балочную конструкцию коробчатого профиля, в котором размещены: теплоизолятор, керамические электронагреватели, медная подкладка (рисунок 2).



- 1) Швеллер
- 2) Свариваемая деталь №1
- 3) Свариваемая деталь №2
- 4) Теплоизолятор Supersil
- 5) Керамические электронагреватели
- 6) Медная подкладка

Рисунок 2 - Профиль передвижного модуля

Листы собираются на раме стенда, под стыками располагаются передвижные модули, таким образом, чтобы продольная ось медных подкладок совмещалась с продольной осью стыка.

#### **Заключение**

Разработанный сварочный стенд отвечает требованиям безопасности, конструктивным особенностям собираемого полотнища и условиям способа бездеформационной сварки.

#### **Благодарности**

Научно-исследовательские работы выполнены за счёт средств ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (НИР № ВН001/2023).

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Желтобрюх, Н. Д. Технология судостроения и ремонта судов: Учебник. - Ленинград : Судостроение, 1990. - 344 с.
2. Бельчук, Г.А. Сварка судовых конструкций / Г. А. Бельчук, К. М. Гатовский, Б. А. Кох. - Ленинград : Судостроение, 1980. - 448 с.
3. Пат. 2557041 Российская федерация, МПК В 23 К 9/035, В 23 К 9/32. Способ сварки плавлением стальных конструкций и устройство для его реализации / Бахматов П. В. Тишкова Е. Е. Муравьев В. И. Мелкоступов К. А. Фролов А. В.; заявитель и патентообладатель Комсомольск-на-Амуре «КНАГТУ». - № 2014104339/02; заявл. 07.02.2014 ; опубл. 20.07.2015.
4. Талыпов, Г. Б. Сварочные деформации и напряжения / Г. Б. Талыпов. - Москва : Машиностроение, 1973, - 280 с.
5. Бахматов, П. В. Бездеформационная сварка под слоем флюса стыковых соединений листовой судостроительной стали марки А / П. В. Бахматов, Е. Е. Тишкова // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 2-2(52). – С. 47-53. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.051. – EDN OMMNOF.

УДК 62-7

Бузунова Александра Евгеньевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Buzunova Aleksandra Evgenyevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Серебренникова Анжела Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент; Serebrennikova Angela Gennadievna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ ПК-1/1,2 ЗА СЧЕТ УМЕНЬШЕНИЯ ПОПАДАНИЯ ЖИДКОСТИ ОТ КОНДЕНСАТООБРАЗОВАНИЯ**

## **ENSURING RELIABLE OPERATION OF PK-1/1,2 RECIPROCATING COMPRESSORS BY REDUCING LIQUID INGRESS FROM CONDENSATION**

Аннотация. Проведен расчет технико-экономических показателей газового сепаратора с коалесцирующими патронами с целью предотвращения конденсат образования на уплотнениях поршневого компрессора. В работе проанализированы основные проблемы, с которыми сталкиваются поршневые компрессора; была оценена экономическая эффективность. На основе полученных данных сделано заключение о возможности внедрения данного проекта на ООО «РН-Комсомольский НПЗ.

Abstract. The calculation of technical and economic indicators of a gas separator with coalescing cartridges was carried out in order to prevent condensation formation on the seals of a reciprocating compressor. The paper analyzes the main problems faced by reciprocating compressors; the economic efficiency was evaluated. Based on the data obtained, a conclusion was made about the possibility of implementing this project at LLC RN-Komsomolsk Refinery.

Ключевые слова: поршневой компрессор, коалесцирующие патроны, конденсат образование.  
Key words: piston compressor, coalescing cartridges, condensate formation.

### **Введение**

В мире нефтеперерабатывающей промышленности одним из важнейших процессов является каталитический риформинг, который играет ключевую роль в производстве высококачественного бензина. Этот процесс представляет собой стадию, на которой происходит преобразование низкомолекулярных углеводородов в более легкие,

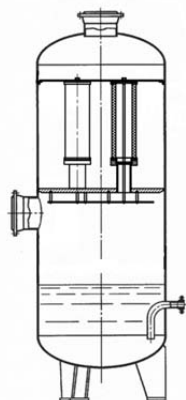
высокооктановые компоненты, улучшая тем самым качество и технические характеристики конечной продукции. Важной частью установки каталитического риформинга являются компрессора поршневого типа, играющие решающую роль в обеспечении стабильного давления.

Поршневой компрессор представляет собой техническое устройство, обеспечивающее давление необходимое в процессе каталитического риформинга, а также поддерживает равномерное перемешивание компонентов в реакторе. Регулярные технические обслуживания и правильное функционирование данного оборудования имеют решающее значение для обеспечения бесперебойного процесса и высокого качества продукции.

Одной из наиболее частых проблем, с которыми сталкиваются поршневые компрессоры, является образование конденсата на торцевых уплотнениях компрессоров. Его проявление может привести к снижению эффективности компрессора, его поломке и, в конечном итоге, привести к простою производства. Поэтому предотвращение конденсата образования на торцевых уплотнениях поршневых компрессоров является важной задачей для обеспечения бесперебойного функционирования установки каталитического риформинга.

### Основная часть

Принцип работы коалесцирующего патрона основан на способности жидких частиц объединяться в большие капли под действием специального материала патрона (стекловолокно). Коалесцирующий фильтр состоит из нескольких слоев материала, который способен притягивать жидкие частицы и сливать их в крупные капли. Это достигается благодаря специальной структуре материала, который обладает высокой поверхностной энергией и способен притягивать молекулы жидкости.



Дисперсии жидкостей в газах и газов в жидкостях неустойчивы и легко разделяются на составляющие их фазы. В тех случаях, когда дисперсное состояние необходимо поддерживать в течение всего процесса, естественную тенденцию дисперсий к разделению компенсируют, используя стабилизирующие материалы и подбирая соответствующие физические условия.

Рисунок 1 – Газовый сепаратор с коалесцирующими патронами

Из дисперсий жидкость в газе в химической технологии встречаются туманы различной плотности, состоящие из частиц с диаметром 0,1—100 мкм. Более крупные частицы легко выделяются в осадительных камерах.

На диспергированную жидкую частицу действуют силы, подобные тем, что действуют на твердую частицу, взвешенную в потоке газа, поэтому для их сепарации используется в основном однотипное оборудование. Одно из преимуществ отделения жидких капель перед отделением твердых частиц состоит в том, что агломерация жидких капель происходит непосредственно после сепарации и эта фаза может быть отведена из сепаратора в виде потока жидкости. Поэтому рукавные фильтры не находят применения для сепарации жидкости из газа, хотя и могут использоваться для укрупнения капель. Все другие типы устройств, для сепарации твердых частиц из газов можно применять и для сепарации капель жидкости, не внося в них конструктивных изменений, а исключив только узлы разгрузки и очистки, обычно необходимые при сепарации твердых материалов.

Коалесценция жидких капель происходит значительно легче, чем агломерация твердых частиц, однако при неблагоприятных условиях капли и распадаются легче. При расчете сепараторов, отделяющих жидкость, эти условия обычно исключаются. Для частиц величиной 3—100 мкм применим закон Стокса, а для частиц 0,1—3 мкм в значение скорости, вычисленной на основании закона Стокса, должна быть внесена поправка Каннингэма.

В соответствии с законом Стокса, сила сопротивления, действующая на частицу сферической формы, равна:

$$F_d = 3\pi\mu_r U d_{\text{ч}}, \quad (1)$$

где  $U$  – скорость частицы диаметром  $d_{\text{ч}}$  относительно газа;  
 $\mu_r$  – динамическая вязкость газа.

При скорости движения частицы, равной скорости осаждения, сила сопротивления равна силе тяжести:

$$\frac{\pi}{6} d_{\text{ч}}^3 (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}}) g = 3\pi\mu_r U_{\text{ос}} d_{\text{ч}}, \quad (2)$$

и

$$d_{\text{ч}} = \sqrt{\frac{18\mu_r U_{\text{ос}}}{(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}}) g}}, \quad (3)$$

Так как скорость осаждения частицы прямо пропорциональна квадрату ее диаметра, трудность отделения малых частиц быстро возрастает с уменьшением их размеров. Очевидно также преимущество распыленной жидкости, состоящее в коалесценции и улавливании, таким образом, мельчайших частиц. На этом принципе основывается работа многих промышленных сепараторов.

#### **Заключение**

В ходе выполнения данного проекта были проведены исследования подходов, направленных на повышение надежности поршневых компрессоров. Для модернизации газового сепаратора С-3 был выбран подход с оснащением коалесцентными патронами. Результаты показали, что модернизированный сепаратор существенно повышает эффективность и надежность работы поршневых компрессоров за счет предотвращения образования конденсата на торцевых уплотнениях. Таким образом, проект позволяет снизить затраты на обслуживание и увеличить срок службы оборудования.

Практическая значимость и потенциальный экономический эффект от внедрения модернизированного сепаратора подтверждают потенциал данного проекта для применения в промышленном производстве.

Дальнейшие исследования и разработки в данной области приведут к улучшению технологий эксплуатации газовых сепараторов и повышению эффективности процессов компрессии газа.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1 Морозов Ю.Н., Сопромат неразрушающий контроль и расчет оборудования для нефтегазовых предприятий: учеб. пос. / Ю.Н. Морозов, Н.И. Корнеев; Рост. гос. нефтегаз. ун-т им. асад. И.М. Губкина. - Ростов н/Д: РГНФ, 2004. – 504 с. – EDN QAWNBL.

2 Самуилов Ю.И., Расчет и конструирование газосепараторов и фильтров: учеб. пособие / Ю.И. Самуилов, Н.А. Полянубо; Изд-во МГУ. - М.: Изд-во МГУ, 2007. – 214 с.

3 Шамиев Б.К., Теория и расчет газосепараторов / Б.К. Шамиев; Газпром. - М.: Газпром, 2010. – 107 с.

4 Андреев Ю.Ф., Конструирование и технология изготовления аппаратов и машин нефтегазовой промышленности: учеб. пособие для вузов / Ю.Ф. Андреев, В.М. Нестеров; Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. - Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012.

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ В ЗОНУ ДЕЙСТВИЯ ДУГИ И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

### **INVESTIGATION OF THE WELDING WIRE FEEDING PROCESS INTO THE ARC AREA AND ITS EFFECT ON THE QUALITY OF WELDED JOINTS**

Аннотация. В настоящей работе представлен анализ изготовления деталей из нержавеющей стали. Проведен анализ характерных дефектов, возникающих в процессе аргоно-дуговой сварки. Установлено, что основным дефектом сварных соединений являются поры. Анализируя статистику дефектов было установлено, что основные дефекты проявляются в месте перекрытия, когда сварщик вынужден прекращать сварку. В качестве мер предотвращения дефектов в производимых деталях было предложено более тщательно подходить к изменению тока в процессе сварки, ответственно подходить к защите сварного шва и присадка от окружающей среды, стабильно подавать сварочную проволоку.

Abstract. This paper presents an analysis of the manufacture of stainless steel parts. The analysis of characteristic defects arising in the process of argon-arc welding is carried out. It has been established that the main defects of welded joints are pores. Analyzing the defect statistics, it was found that the main defects appear at the overlap point when the welder is forced to stop welding. As measures to prevent defects in manufactured parts, it was proposed to take a more careful approach to changing the current during the welding process, take a responsible approach to protecting the weld and the additive from the environment, and stably supply the welding wire.

Ключевые слова: дефекты, перекрытие, сварочный ток, защита сварного шва и присадка, аргоно-дуговая сварка.

Keywords: defects, overlap, welding current, weld protection and additive, argon arc welding.

#### **Введение**

Аргоно-дуговая сварка деталей из нержавеющей стали является одним из наиболее востребованных и эффективных методов соединения металлических изделий. Однако, несмотря на свою популярность, данный процесс может сопровождаться образованием различных дефектов, которые негативно влияют на качество сварного шва и могут привести к разрушению конструкции. Поэтому исследование причин образования дефектов аргоно-дуговой сварки является актуальной задачей, решение которой позволит повысить качество и надежность сварных соединений.

Целью данной работы является исследование процесса подачи сварочной проволоки в зону действия дуги и его влияния на качество сварных соединений при аргоно-дуговой сварке деталей из нержавеющей стали, а также разработка рекомендаций по предотвращению и устранению этих дефектов.

### Основная часть

В настоящее время существует общая проблема порообразования в нержавеющих трубопроводных системах. Данная проблема является актуальной, поскольку порообразование может привести к серьезным последствиям: снижению герметичности и прочности трубопровода.

Анализируя общую статистику, было выяснено, что для всех сварных соединений из нержавеющей стали общим дефектом, является пористость.

На рисунке 1 представлена общая статистика дефектов, возникающих в процессе производства сварных нержавеющих трубопроводов. Этим можно сказать об актуальности сложившейся проблемы.

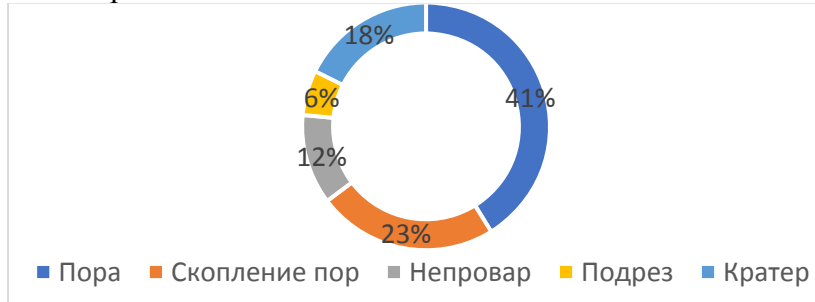


Рисунок 1 – Общая статистика дефектов сварных соединений

На примере конкретной конструкции была рассмотрена её дефектность. Изготавливаемая деталь является трубой и состоит из двух трубных заготовок и трех фланцев с диаметрами 90 мм и толщиной стенки 0,8 мм.

Тип сварного соединения стыковой, С00000 по ПИ 1.4.748-80, зазор до сварки  $0^{+0.2}$  мм, ширина шва 3-6 мм, высота усиления  $0^{+0.5}$  мм, глубина проплавления  $0^{+0.2}$  мм.

Режимы сварки [1, 2] были следующими:

- угол заточки неплавящегося электрода -  $18^\circ$ ;
- угол положения сварочной горелки относительно осей шва  $90 - 45^\circ$ ;
- сила тока - 45 А;
- время продувки аргоном: до сварки - 5 сек, после сварки - 10 сек.
- время нахождения присадка под дугой: 0,5 - 1 с. под дугой, 1 - 2 с. вне дуги;
- Подача присадка – по касательной к радиусу трубы.

Для каждого стыка диаметром 90 мм использовалось по 4 прихватки через каждые  $90^\circ$ . Длина перекрытия 10 - 15 мм.

После сварки конструкция была отправлена на рентгенографический контроль [3, 4]. В процессе анализа данных о дефектах применялся журнал рентгенографической лаборатории, содержащий информацию о дефектах за 2023 год (рисунок 2).

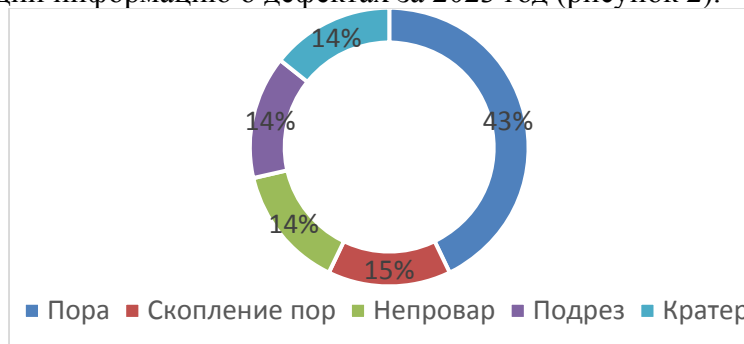


Рисунок 2 – Статистика дефектов детали за 2023 год

Анализируя представленную статистику, можно отметить, что самым частым дефектом при сварке данной детали является пора. Исходя из этого, можно сделать вывод: учитывая, что деталь поступает на сварку с обезжиренной и обезвоженной поверхностью, верно выставленным зазором, значения которого соответствуют технической документации, то появление дефекта происходит именно в момент сварки ввиду неподходящей техники и режимами сварки, недостаточной защиты зоны сварки.

По опыту сварщика, его ощущениям в процессе сварки и при общем анализе было выявлено, что основные дефекты проявляются именно в момент перекрытия, ввиду слишком большого тока при завершении сварки. Когда необходимо чтобы сварочная ванна застыла, большой ток может вызывать излишнее тепловложение и усадку ванны, в дальнейшем образование кратера или поры. Сварщик в процессе сварки видит попытку появления кратера и пытается это предотвратить, используя дополнительную подачу присадка и прерывание подачи тока.

Также было замечено, что по завершению сварки продувка аргоном раскаленного сварного шва и присадка недостаточна по времени, или же не осуществляется в принципе, в связи с чем сварной шов, не успев остыть, покрывается оксидной пленкой, образующей цвета побежалости. В последующем это повышает риск возникновения пор на данном участке.

Для предотвращения появления пор следует более тщательно подходить к регулировке сварочного тока, а именно, его плавное уменьшение под конец сварки, в отличие от его уменьшения прерыванием; ответственно подходить к защите сварного шва и присадка от окружающей среды [5], подавать его стабильно и непрерывно.

### **Заключение**

В данной работе был проведён анализ производства деталей из нержавеющей стали, определены основные дефекты, возникающие при аргонодуговой сварке, а также выявлены причины их возникновения. Главные факторы, способствующие появлению дефектов, включают: подачу присадки с окислённым концом, отсутствие регулировки сварочного тока, вынужденные остановки во время сварки и отсутствие адекватной защиты сварного шва и присадки от воздействия окружающей среды.

Для решения проблемы и улучшения качества сварных швов было предложено обеспечить надлежащую защиту сварного шва и присадки, стабильность и непрерывность подачи присадки. Это может значительно снизить вероятность возникновения дефектов. Кроме того, важны не только скорость и угол подачи присадки, но и её чистота. Оксиды на присадке должны отсутствовать.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. ПИ 1.4.75-2000 Дуговая сварка в среде защитных газов конструкционных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов : 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.
2. ПИ 1.4.748-80 Дуговая сварка трубопроводов из нержавеющей сталей в среде инертных газов : 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.
3. ГОСТ 7512-1982 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 20 декабря 1982 г. № 4923 : взамен ГОСТ 7512-75 : дата введения 1984-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1988. – 19 с.
4. ПИ 1.4.415-92 Контроль сварных и паяных соединений методами радиационной дефектоскопии : производственная инструкция : утверждена и зарегистрирована ПК 10 от 01 января 1993 : дата введения 1993-01-01 / разработана ОАО НИАТ. – Москва : ИПК ОАО НИАТ, 1992. – 98 с.
5. Кравченко, А. С. Разработка технологических рекомендаций по повышению качества сварных соединений элементов трубопроводных систем из нержавеющей сталей 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 MMJPH.

УДК 665.777.4

Девясилова Полина Сергеевна, студентка, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Devyasilova Polina Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Проценко Александра Николаевна, кандидат химических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Protsenko Alexandra Nikolaevna, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАСЧЕТ КОЛОННЫ УЗК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА В ТОПЛИВНОМ ГАЗЕ МЕНЕЕ 0.5%об.**

## **CALCULATION OF UZK COLUMN TO PROVIDE LIQUEFIED HYDROCARBON GAS IN FUEL GAS LESS THAN 0.5%vol.**

Аннотация. Данная работа посвящена усовершенствованию установки замедленного коксования, сравнению повышению эффективности клапанной и балластной клапанной тарелок. Выполнен сравнительный анализ тарелок, показано, что клапанные и балластные клапанные тарелки являются эффективными средствами повышения производительности различных колонн, оба типа тарелок обеспечивают хороший массообмен и улучшают разделение компонентов смеси. Выбор между клапанными и балластными клапанными тарелками зависит от определенных условий процесса и требований к производительности.

Abstract. This work is devoted to the improvement of delayed UZK, comparing the efficiency of the valve and ballast valve plates. A comparative analysis of the plates has been performed, it has been shown that valve and ballast valve plates are effective means of increasing the productivity of various columns, both types of plates provide good mass transfer and improve the separation of the components of the mixture. The choice between valve and ballast valve plates depends on certain process conditions and performance requirements.

Ключевые слова: клапанная тарелка, УЗК, эффективность, клапанная балластная тарелка.  
Key words: valve plate, UZK, efficiency, valve ballast plate.

### **Введение**

Одним из наиболее распространенных термических процессов является процесс замедленного коксования, позволяющий обрабатывать различные виды тяжелых нефтяных остатков с получением продуктов, широко применяемых в различных отраслях экономики. Этот процесс осуществляется путем нагрева сырья до 495-520°C. Помимо кокса, установка замедленного коксования позволяет получать газы, бензиновую фракцию и коксовый дистиллят [1].

Аппараты колонного типа, или колонны, предназначены для проведения массо-теплообменных операций при обработке различных химических веществ, нефтепродуктов и др. Большинство колонн выполняют функции ректификационных, стабилизационных и отпарных колонн, а также абсорберов/десорберов. Внутри аппаратов располагаются ректификационные тарелки и другие вспомогательные устройства [2].

Типы тарелок, используемых в колонной аппаратуре, можно разделить на четыре основных категории: колпачковые (с круглыми, желобчатыми и прочими колпачками, с S-формами), провальные (с прямоугольными щелевыми решетками, с круговыми ситами), клапанные (с балластными клапанами разных форм и размеров) и струйно-направляющие (ситчатые с отбойными компонентами).



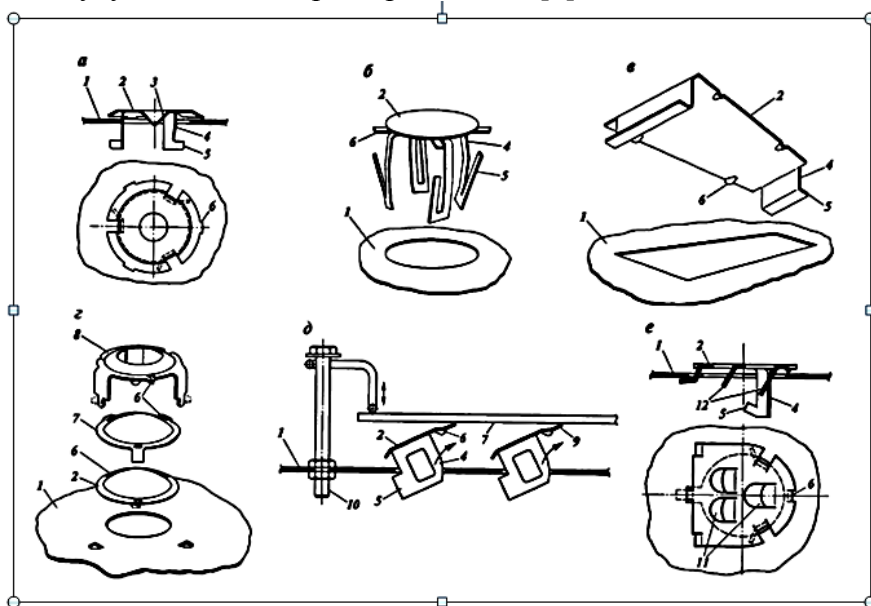
### Основная часть

Проанализируем вариант усовершенствования ректификационной колонны установки замедленного коксования для более эффективной работы. Нами выполнено сравнение эффективности клапанной тарелки и клапанной балластной тарелки, для которых в последнее время наблюдается рост популярности, особенно для применения в условиях значительных колебаний скорости газа.

В отличие от тарелок, функционирующих в статическом режиме, клапанные тарелки действуют в динамическом режиме. Одна из конструкций клапана, значительно упрощающая монтаж тарелки, показана на рисунке 1. Такая конструкция снижает расход металла, так как при изготовлении клапана используются диски, образованные путем сверления отверстий в поверхности тарелки.

Через сливные устройства флегма перетекает с тарелки на тарелку, конструкция которых аналогична другим типам тарелок. Вес клапана подбирается так, чтобы он функционировал в заданном диапазоне высоты подъема при возможных колебаниях нагрузок. Если нагрузка может сильно поменяться, тарелки оснащаются клапанами разного веса, так, легкие клапаны открываются при низких нагрузках, а тяжелые – при увеличении нагрузки [3].

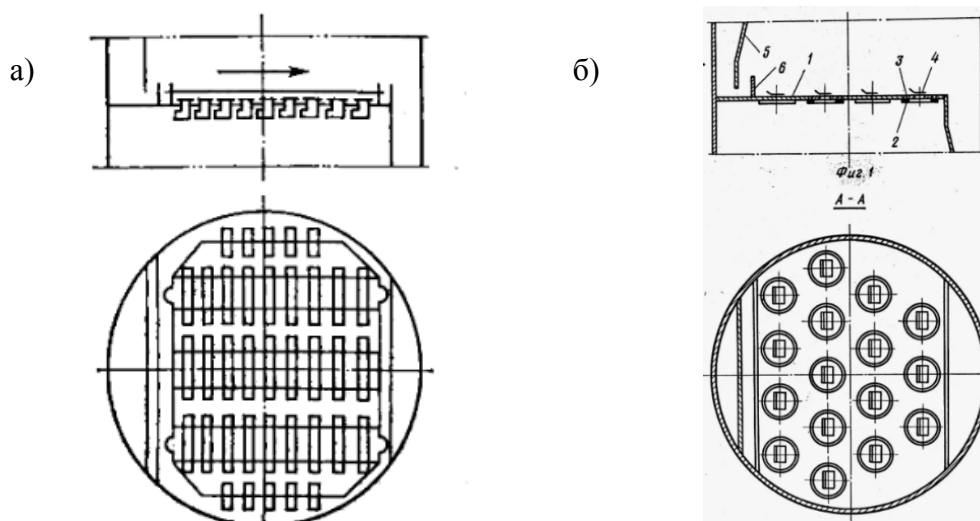
От клапанных балластных тарелки отличаются конструкцией, так, в них между легким клапаном и ограничителем помещается балласт, имеющий больший вес. При малых скоростях газа или пара клапан начинает подниматься. С увеличением скорости газа далее, клапан соприкасается с балластом и затем поднимается вместе с ним. В результате балластная тарелка начинает функционировать раньше, имеет более широкую рабочую область и более высокий уровень эффективности разделения (на 15-20%) в сравнении с простой клапанной тарелкой. Гидравлическое сопротивление балластной тарелки оказывается ниже (на 10-15%), чем у простой клапанной тарелки. Клапанные балластные тарелки отличаются высокой пропускной способностью по газу и устойчивостью в гидродинамическом отношении. Таким образом, в колоннах используются балластные клапанные тарелки, которые, благодаря более равномерному функционированию, обладают улучшенными характеристиками [4].



а – дисковый клапан фирмы «Nutter»; б – дисковый клапан фирмы «Sulzer»; в – трапециевидный клапан ВНИИнефтемаша; г – балластный клапан фирмы «Glitsch»; д – балластный клапан ВНИИнефтемаша; е – прямоточный клапан РГУ нефти и газа им.

И.М. Губкина; 1 – полотно тарелки; 2 – клапан; 3 – коническое углубление; 4 – направляющие; 5 – ограничители вертикального подъема; 6 – ограничители начального зазора; 7 – балласт; 8 – специальный ограничитель подъема; 9 рычаг; 10 – болт; 11 – отверстия в клапане; 12 – козырьки

Рисунок 1 – Конструкции клапанных тарелок



а) – клапанная балластная тарелка; б) – клапанная тарелка

Рисунок 2 – Схемы тарелок

### Заключение

Таким образом, выполнен сравнительный анализ клапанной и балластной клапанной тарелок. В результате сравнения было показано, что клапанные и балластные клапанные тарелки являются эффективными средствами повышения производительности различных колонн, оба типа тарелок обеспечивают хороший массообмен и улучшают разделение компонентов смеси. В целом, выбор между клапанными и балластными клапанными тарелками зависит от определенных условий процесса и требований к производительности.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Ефремов, Г. И. Процессы и аппараты химической технологии. Тепловые и массообменные процессы / Г. И. Ефремов, Л. В. Кравчинская. – Москва : Московский государственный областной университет, 2012. – 68 с. – ISBN 978-5-7045-1262-2. – EDN RRKNCF.

2 Жучков, А. В. Технология химического машино- и аппаратостроения : учеб. пособие / А. В. Жучков ; А. В. Жучков ; М-во образования Рос. Федерации, Воронеж. гос. технол. акад.. – Воронеж : ВГТА, 2004. – 119 с. – ISBN 5-89448-286-0. – EDN QNAVSL.

3 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. – 5-е изд., стер., перепеч. с изд. 1991 г. (2-е изд., перераб. и доп.). – Москва : Альянс, 2010. – 493 с. – ISBN 978-5-903034-87-1. – EDN QNEVQJ.

4 Нурджанова, Ю. В. Совершенствование системы разделения на установке каталитического крекинга / Ю. В. Нурджанова // Синергия Наук. – 2022. – № 70. – С. 619-620. – EDN LTXWCQ.

УДК 338.3:005.6

Загидуллин Радмир Салимьянович, ассистент кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Zagidullin Radmir Salimyanovich, Assistant of the Department of aircraft production and Quality Management in Mechanical engineering, Samara National Research University

Крюкова Анастасия Константиновна, студент магистратуры, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Kryukova Anastasia Konstantinovna, master's student, Samara National Research University

Михеев Михаил Александрович, аспирант, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Mikheev Mikhail Aleksandrovich, graduate student, Samara National Research University

Ткаченко Алексей Александрович, аспирант, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Tkachenko Alexey Alexandrovich, graduate student, Samara National Research University

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ СЕРИЙНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

### **DEVELOPMENT OF A FLEXIBLE PRODUCTION CELL MODEL FOR SERIAL PRODUCTION OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES**

Аннотация. Разработана имитационная модель гибкой производственной ячейки для серийного изготовления беспилотных летательных аппаратов. Разработка модели производственной ячейки проведена в программном обеспечении R-PRO Digital. Для изготовления корпусных элементов беспилотных летательных аппаратов предложено производить на основе интегрированного применения термопластавтомата и FDM 3D-принтеров, сборку – на основе коллаборативных роботов.

Abstract. A simulation model of a flexible production cell for serial production of unmanned aerial vehicles has been developed. The production cell model was developed using R-PRO Digital software. For the manufacture of body elements of unmanned aerial vehicles, it is proposed to produce on the basis of the integrated use of an injection molding machine and an FDM 3D printers, and assembly - on the basis of collaborative robots.

Ключевые слова: гибкая производственная ячейка, беспилотный летательный аппарат, FDM 3D-печать, термопластавтомат.

Key words: flexible production cell, unmanned aerial vehicle, FDM 3D printing, injection molding machine

#### **Введение**

В настоящее время наблюдается активное применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как в гражданских, так и военных отраслях: доставка грузов, инспектирование строений, мониторинг состояния лесов, обнаружение пожаров, распыление удобрений, разведка и нанесение ударов и т.д.

Вместе с тем, в связи с острым дефицитом отечественных БПЛА по причине введенных технологических санкций и активного применения БПЛА в зоне военных действий, необходимо обеспечить гибкое серийное производство БПЛА как гражданского, так и военного назначения.

Гибкость серийного производства определяется возможностью в кратчайшие сроки развернуть серийное производство БПЛА как в гражданского, так и военного назначения в гражданских и военных зонах. Кроме того, необходимо максимально ис-

ключить воздействие человеческого фактора в процесс изготовления и сборки для повышения качества выпускаемых изделий.

Таким образом, актуальность работы определяется необходимостью создания гибкой производственной ячейки серийного изготовления БПЛА на основе интегрированного применения литья под давлением и аддитивных технологий, и коллаборативных роботов.

Производство в ячейках является методом, который обеспечивает изготовление с минимальными потерями требуемого ассортимента продукции [1].

Целью работы является разработка имитационной модели гибкой производственной ячейки серийного изготовления беспилотных летательных аппаратов.

В соответствии с вышепоставленной целью поставлены следующие задачи:

- 1) разработать типовой технологический процесс изготовления и сборки БПЛА;
- 2) провести подбор оборудования для изготовления и сборки БПЛА;
- 3) разработать имитационную модель гибкой производственной ячейки в программном обеспечении (ПО) R-PRO Digital.

Основная часть

Разработан типовой технологический процесс изготовления и сборки БПЛА.

Основными этапами типового технологического процесса является:

- 1) входной контроль материалов и покупных комплектующих для изготовления и сборки БПЛА;
- 2) изготовление корпусных элементов БПЛА с помощью термопластавтомата и FDM (Fused Deposition Modeling) 3D-принтеров;
- 3) пост-обработка изготовленных корпусных элементов БПЛА;
- 4) технический контроль изготовленных корпусных элементов БПЛА;
- 5) роботизированная сборка БПЛА;
- 6) программирование БПЛА;
- 7) испытания и приемка.

Для изготовления корпусных элементов БПЛА сложной геометрической формы (например, платформы), предложено использовать линейку недорогих 3D-принтеров китайского производства Flying Bear (рисунок 1) [2-4].

Для изготовления корпусных элементов БПЛА относительно простой геометрической формы (например, крышки) предложено использовать термопластавтоматы.

Для сборки БПЛА предложено использовать коллаборативные роботы серии Dobot китайского производства (рисунок 2).

В ПО R-PRO Digital разработана имитационная модель гибкой производственной ячейки серийного изготовления БПЛА (рисунок 3).



Рисунок 1 – FDM 3D-принтер Flying Bear Tornado 2 Pro



Рисунок 2 – Коллаборативный робот Dobot CR20



Рисунок 3 – Имитационная модель производственной ячейки в ПО R-PRO Digital (фрагмент)

В зависимости от серии или места развертывания производственной ячейки БПЛА (например, в зоне военных действий) допускается исключить из производственной ячейки термопластавтомат и увеличить количество FDM 3D-принтеров [5].

#### **Заключение**

Таким образом, разработана имитационная модель гибкой производственной ячейки серийного изготовления беспилотных летательных аппаратов на основе интегрированного применения термопластавтомата и FDM 3D-принтеров, и коллаборативных роботов. Разработанная модель позволяет в кратчайшие сроки развернуть серийное производство БПЛА как в гражданского, так и военного назначения в гражданских и военных зонах. Недостатком разработанной модели является необходимость разработки конструкторско-технологических решений вопросов роботизированной сборки БПЛА.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Кирюшин, С. А. Методика организации и внедрения производственной ячейки / С. А. Кирюшин // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2017. – Т. 1, № 10. – С. 72-78. – EDN ZMZKOD.
2. Загидуллин, Р. С. Экспериментальное исследование влияния коэффициента потока на прочность напечатанных деталей и узлов из полимерных композиционных материалов / Р. С. Загидуллин, А. В. Косенкова, В. А. Матвеев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 210-215. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-7-210-211. – EDN RBKSNN.
3. Загидуллин, Р. С. Экспериментальное исследование и способ повышения качества FDM 3D-печати за счет нивелирования вариабельности диаметра прутка филамента / Р. С. Загидуллин, В. Д. Жуков, Н. В. Родионов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 265-271. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-3-265-272. – EDN JZIALA.
4. Zagidullin, R. Quality function deployment and design risk analysis for the selection and improvement of FDM 3D printer / R. Zagidullin, T. Mitroshkina, A. Dmitriev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 666. – DOI: 10.1088/1755-1315/666/6/062123.
5. Щукина, Д. С. Оценка качества работы замкнутой автоматизированной системы послыного синтеза / Д. С. Щукина, С. А. Назаревич // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем : Сборник докладов Четвертой Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 18–22 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2023. – С. 243-246. – EDN DENPZN.

УДК 66.092-977

Зайцева Екатерина Анатольевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zaitseva Ekaterina Anatolyevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Проценко Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Protsenko Alexander Evgenievich, Candidate of Technical Sciences, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ МЕТИЛДИЭТАНОЛАМИНА**

### **INVESTIGATION OF THERMAL AGING PROCESSES OF METHYLDIETHANOLAMINE**

Аннотация. В данной статье рассматриваются теоретические данные о метилдиэтанол-амине, его применение, положительных и отрицательных качествах, которые в той или иной степени влияют на его работу в роли абсорбента при аминовой очистке газов. Представлены экспериментальные исследования старения метилдиэтанол-амин. Изучен состав полученных проб методом хромато-масс-спектрологии.

Abstract. This article discusses the theoretical data on methyldiethanolamine, its use, positive and negative qualities, which to one degree or another affect its work as an absorbent in amine gas purification. Experimental studies of methyldiethanolamine aging are presented. The composition of the obtained samples was studied by chromatography-mass spectroscopy.

Ключевые слова: метилдиэтанол-амин, растворитель, термическое старение.

Key words: methyldiethanolamine, solvent, thermal aging.

#### **Введение**

Метилдиэтанол-амин, также известный как N-метилдиэтанол-амин (МДЭА). Это прозрачная жидкость, с резким неприятным запахом. Хорошо растворяется в воде, этаноле и прочих органических растворителях. Третичный амин, широко используется на нефтеперерабатывающих заводах, при производстве синтез-газа и природного газа [1].

Среди аминовых растворителей метилдиэтанол-амин выделяется своей способностью преимущественно извлекать  $H_2S$  из кислых газов, выделяя при этом  $CO_2$ . Он широко используется в качестве абсорбента благодаря ряду преимуществ перед другими аминами: низкое давление пара, высокая термическая и химическая стойкость, слабое смешивание с углеводородами и относительно низкая теплота реакции с сероводородом. Все это делает его эффективным решением для процессов газоочистки.

Использование метилдиэтанол-амин позволяет сократить эксплуатационные затраты благодаря низкому тепловыделению в процессе реакции с сероводородом и возможности использования составов с высоким содержанием аминов без значительных потерь. Однако для обеспечения бесперебойной работы необходимо тщательное обслуживание и подготовка оборудования, чтобы избежать его забивания смолообразными веществами.

Несмотря на ряд преимуществ, метилдиэтанол-амин не лишен недостатков. К ним относится его относительно высокая стоимость, меньшая реакционная способность по сравнению с некоторыми другими аминами, а также невозможность полной регенерации при использовании традиционных методов. Кроме того, он не всегда эффективно удаляет некоторые побочные продукты, такие как  $COS$  и  $CS_2$  [2].

Исследование процессов старения МДЭА, приводящих к образованию термостабильных смол является актуальной задачей.

## Основная часть

Процесс старения МДЭА проводился в лабораторных условиях в колбе с обратным холодильником при температуре кипения 250°C. Отбор проб для исследования проводился через 1, 2, 3, 5, 20, 30 и 40 часов выдержки раствора. При помощи хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на приборе Shimadzu GCMS-QP 2010 Plus определялся состав проб (рисунок 1). Оценка состава растворов проводилась по высоте пиков регистрируемых веществ.

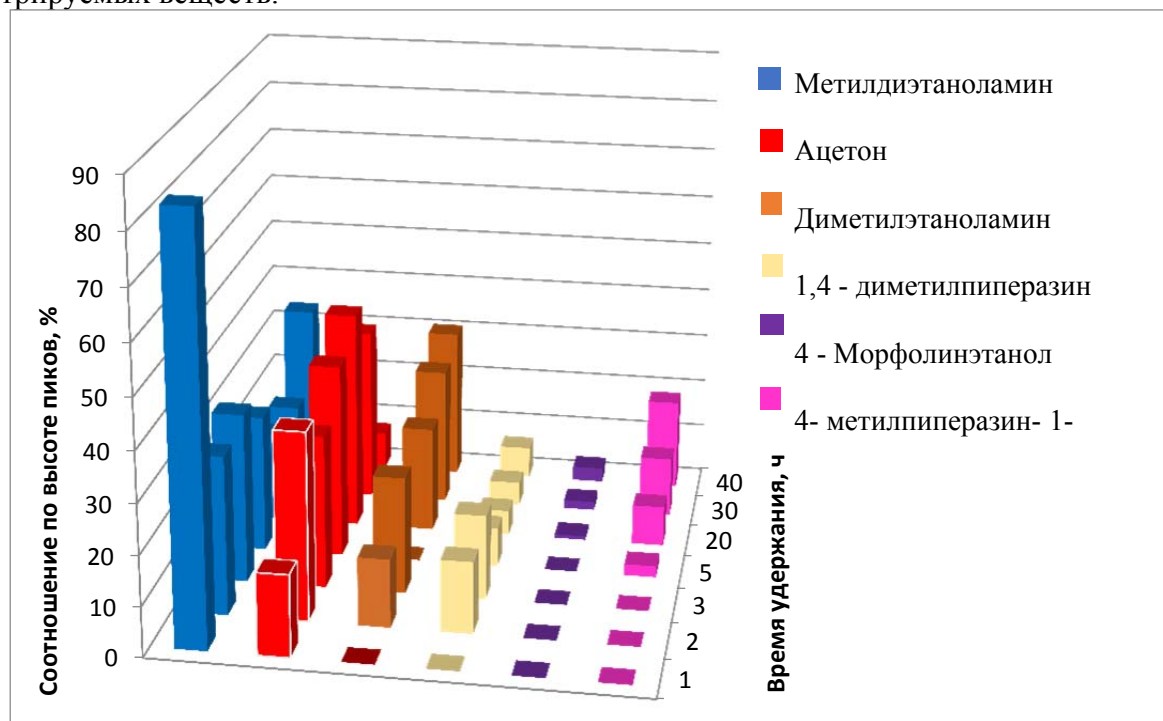


Рисунок 1- распределение основных компонентов в пробах МДЭА

На рисунке 1 представлена гистограмма распределения основных компонентов, присутствующих в пробах МДЭА. В результате можно сделать вывод о том, что с увеличением времени выдержки аминспирта увеличивается количество компонентов, присутствующих в рабочем растворе. Через 1 час кипения наблюдается потемнение раствора, при этом по данным ГХ-МС в пробе появляется ацетон. После 2-ого часа выдержки по данным ГХ-МС в пробе появляются такие вещества, диметилэтанолламин и 1,4-диметилпиперазин. После 5 часа появился 4-метилпиперазин-1-этиламин, а после – 4-морфолинэтанол. Из-за увеличения разнообразия веществ в растворе, уменьшается процентное содержание метилдиэтанолламина

### Заключение

Подводя итоги данного исследования, можно сказать, что при термическом старении метилдиэтанолламина образуется множество компонентов и их количество превышает содержание метилдиэтанолламина.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кнунянц, И.Л. Химическая энциклопедия: в 5 т.: т.3: Меди-Полимерные/ И.Л. Кнунянц [и др.]. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1992. – 639 с.
2. Лаврентьев, И. А. Применение метилдиэтанолламина на установках очистки газов: замена аминов на МДЭА; эксплуатация установок; перспективы использования на вновь создаваемых установках / И. А. Лаврентьев // Газохимия-2016 : тезисы докладов III Международной конференции, Москва, 29–30 ноября 2016 года. – Москва: Общество

с ограниченной ответственностью "Научно- исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ", 2016. – С. 8. – EDN XGPXGL.

3. Коренченко, О. В. Эффективность применения метилдиэтанолamina в процессе аминовой очистки газов / О. В. Коренченко, М. Д. Харламова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 2-2(56). – С. 94-98. – DOI 10.23670/IRJ.2017.56.103. – EDN XVLBGH.

4. Соловьев, Р. А. Выбор технологии очистки аминовых и гликолевых растворов применительно к мобильной установке / Р. А. Соловьев, В. А. Купавых, А. У. Ишмухаметова // МИЛЛИОНЩИКОВ-2022 : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Грозный, 19–20 мая 2022 года. – Грозный: Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, 2022. – С. 178-182. – DOI 10.34708/GSTOU.CONF.2022.37.23.039. – EDN ZRGLYE.

5. Технология очистки метилдиэтанолamina, используемого в переработке природного газа / И. Р. Холбозоров, А. Ю. Дустов, Б. Ш. Хамроев [и др.] // Международный академический вестник. – 2019. – № 12(44). – С. 97-99. – EDN DSMRUB.

УДК 621.791

Захарченко Дмитрий Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zakharchenko Dmitriy Alekseevich, 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, Department of "Technology of welding and metallurgical production named after V.I. Muravyov", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИНЫ В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА**

### **INVESTIGATION OF THE CAUSES OF CRACK FORMATION IN THE WELDED JOINT OF THE MAIN GAS PIPELINE**

Аннотация. В работе представлено исследование причин образования трещины в магистральном газопроводе Сахалин-Хабаровск-Владивосток. Анализируется технология изготовления технологического вварыша, также представлены результаты неразрушающего контроля. Установлено, что зарождение трещины начиналось с технологического непровара в подкладном кольце, что привело к разрушению между сварными соединениями. Образование анализируемого дефекта может быть связано с неравномерным подогревом перед сваркой, а также нарушением технологии ремонта. Abstract. The paper presents a study of the causes of crack formation in the Sakhalin-Khabarovsk-Vladivostok main gas pipeline. The technology of manufacturing a technological weld is analyzed, and the results of non-destructive testing are also presented. It was found that the origin of the crack began with a technological failure in the lining ring, which led to destruction between the welded joints. The formation of the analyzed defect may be associated with uneven heating before welding, as well as a violation of repair technology.

Ключевые слова: ручная дуговая сварка, трещина, магистральный газопровод, ремонт, Сахалин-Хабаровск-Владивосток.

Key words: manual arc welding, crack, main gas pipeline, repair, Sakhalin-Khabarovsk-Vladivostok.



## Введение

Согласно статистике известно [1], что половина аварий и инцидентов техногенного характера происходит по причине разгерметизации в районе кольцевых и круговых сварных соединений, по причине наличия в них дефектов. Качество сварных соединений и степени опасности во многом зависит от результатов неразрушающего контроля, правильной технологии выполнения сварного соединения и идентификации дефектов. Околошовная зона сварного соединения подвержена термическому влиянию при сварке, что определяет ее фазовую и структурную неоднородность. Неоднородность структуры существенно понижает механические свойства металла, что вместе с довольно высокими сварочными деформациями и напряжениями может быть причиной образования трещин [2]. Также известно, что в процессе эксплуатации трубопровода происходит воздействие на металл трубы, что способствует образованию зон концентрации напряжений [3, 4].

## Основная часть

В исследовании рассмотрен сегмент трубы магистрального газопровода «Сахалин-Хабаровск-Владивосток» изготовленный из стали 09Г2 после ремонта дефекта трубы вваркой заплатой (рисунок 1, а). Вварыш выполняется ручной дуговой сваркой с предварительным подогревом перед сваркой до  $150^{+30^{\circ}\text{C}}$ , технология наложения валиков представлена на рисунке 1, б.

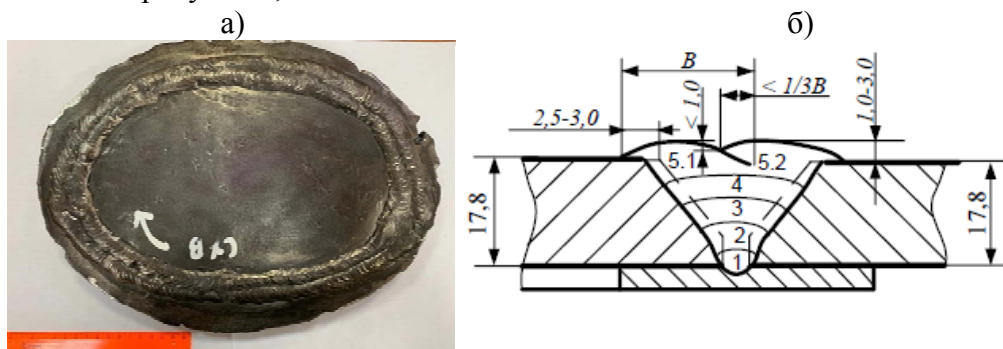


Рисунок 1 – Внешний вид вварыша (а) и технология наложения валиков (б)

По результатам цветной дефектоскопии выявлена трещина, но идентифицировать ее протяженность по сварным соединениям данным методом контроля не представлялось возможным, поэтому выполнен радиографический контроль с использованием аппарата МАРТ-250. Результаты цветной дефектоскопии и радиографического контроля представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Оценка качества сварных соединений после:  
а – цветной дефектоскопии; б – радиографического контроля

Принято решение о раскрое сварного соединения с помощью фрезерования, для оценки микроструктуры сварного соединения и установления причин образования трещин. Образец для оценки структуры представлен на рисунке 3. На данном рисунке видно количество заполняющих слоев разделки кромок.

Как видно из рисунка, зарождение трещины начиналось с подкладного кольца (с коревой части между двух сварных соединений). Образование данного дефекта может

быть вызвано неравномерным предварительным подогревом перед сваркой, а также наличием сжимающих напряжений при заполнении разделки кромок. Известно, что при выполнении вварыша температура окружающего воздуха составляла  $-35^{\circ}\text{C}$  и прогрев выполнялся пропановой горелкой, что способствовало неравномерному нагреву перед сваркой.



Рисунок 3 – Образец, подготовленный для оценки структурных составляющих сварных соединений

В работе [5] также отмечается, что образование трещин может обуславливаться рядом причин технологического характера, например, перемещением свариваемых кромок труб в процессе сборки, некорректным выбором сварочных материалов (сварочной проволоки, флюса), локальным изменением химического состава металла шва или его структурной неоднородностью из-за попадания в шов экзогенных частиц, повышенной влажностью

#### **Заключение**

Перспективой дальнейшей работы является исследование структуры сварных соединений и её неоднородности в зоне трещины, а также исследование химического состава в отдельных зонах заполняющих валиков и линейных анализ распределения элементов от сварных швов в основной металл. Дальнейшие исследования позволят сформировать рекомендации по ремонту газопроводов и исключить повторное образование рассматриваемого дефекта.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Зазнобин, В. А. Исследование поперечных трещин кольцевых сварных соединений линейной части магистральных газопроводов / В. А. Зазнобин, А. В. Некрасов, А. В. Панкратов // Контроль. Диагностика. – 2021. – Т. 24, № 9(279). – С. 34-41. – DOI 10.14489/td.2021.09.pp.034-041. – EDN YTQSUM.
2. Буклешев, Д. О. Предлагаемая методика обнаружения зон концентрации напряжений в околошовных зонах сварных стыков газопроводов / Д. О. Буклешев // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2017. – № 1(59). – С. 42-48. – EDN YJYIRH.
3. Буклешев, Д. О. Анализ условий безопасной эксплуатации околошовных зон трубопроводов / Д. О. Буклешев // Международное научное обозрение проблем и перспектив современной науки и образования : Сборник статей по материалам XXXVIII Международной научно-практической конференции, Москва, 24–25 октября 2017 года. – Москва: "Проблемы Науки", 2017. – С. 17-21. – EDN ZSRJPF.
4. Буклешев, Д. О. Образование дефектов в околошовных зонах сварных стыков магистральных газопроводов при воздействии рабочих нагрузок / Д. О. Буклешев // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2016. – № 2(54). – С. 26-29. – EDN VWRWRZ.
5. Рыбаков, А. А. Трещины в сварных соединениях труб большого диаметра и меры их предупреждения / А. А. Рыбаков, Т. Н. Филипчук, Л. В. Гончаренко // Автоматическая сварка. – 2013. – № 4(720). – С. 16-22. – EDN TEAGKF.

УДК 606-33

Ильин Андрей Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ilyin Andrey Mikhailovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

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

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

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЗОТА НА НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЕ ПИЛЬТУН-АСТОХСКАЯ-Б**

### **MODERNIZATION OF THE NITROGEN PREPARATION AND DISTRIBUTION SYSTEM AT THE PILTUN-ASTOKHSKAYA-B OIL AND GAS PRODUCTION PLATFORM**

Аннотация: Любое производство в нефтегазовой сфере связано с углеводородами, которые несут в себе потенциальную опасность, как для рабочего персонала, так и для оборудования. Как и любое производство во всех сферах жизнедеятельности человека, добыча и переработка углеводородов ведется с помощью оборудования, которое нуждается в обслуживании, ремонте или замене. Чтобы исключить образование взрывоопасной смеси при проведении ремонта, плановой или внеплановой замене оборудования, следует вытеснить кислород. Для этих целей используется азот, как самый доступный инертный газ

Abstract: Any production in the oil and gas sector is associated with hydrocarbons, which carry a potential danger for both working personnel and equipment. Like any production in all spheres of human activity, the extraction and processing of hydrocarbons is carried out using equipment that needs maintenance, repair or replacement. To prevent the formation of an explosive mixture during repairs, scheduled or unplanned replacement of equipment, oxygen should be displaced. Nitrogen is used for these purposes, as the most accessible inert gas.

Ключевые слова: ресивер, азот, нефтегазодобывающая платформа «Пильтун-Астохская-Б», конструктивный и технологический расчет.

Key words: receiver, nitrogen, oil and gas production platform "Piltun-Astokhskaia-B", structural and technological calculations.

#### **Введение**

Абсолютно все нефтегазодобывающие процессы являются чрезвычайно опасными из-за постоянного присутствия углеводородов. Они представляют серьезную угрозу как для персонала или объекта, так и для предприятия в целом. Пренебрежительное отношение в работе с углеводородами может привести к катастрофическим последствиям. С другой стороны, ни для кого не секрет, что абсолютно все технологические процессы в нефтегазовой отрасли проектируются в соответствии с многочисленными критериями, одним из которых является - непрерывность. Добыча, подготовка и транспортировка жидких и газообразных углеводородов ведется на непрерывной основе, любой сбой в оборудовании накладывает серьезные негативные последствия.

Все эти процессы возможны благодаря оборудованию, которое в свою очередь имеет рабочий ресурс и требует периодического обслуживания, осмотра, ремонта, замены. Для проведения вышеперечисленных операций необходимо удаление углеводородов. Данная технологическая операция называется вытеснением. Вытеснение углеводородов производится инертными газами, из которых самым доступным является азот. Помимо оборудования, требующего периодического обслуживания, есть и то, жизнедеятельность которого напрямую зависит от наличия подачи азота, так как в своей работе оно использует его в качестве уплотнения.

## Основная часть

Основные преимущества и характеристики азота заключаются в его не взрыво и пожаробезопасности, не токсичности, способности препятствовать гниению, образованию коррозии и окислению, минимальная теплоемкость. Чаще всего азот применяют для очистки, а также продувки систем трубопроводов. Связано это с тем, что азот хорошо вытесняет кислород. Его применяют для пожаротушения. Особенно актуально использование азота в условия низких температур, например, на Крайнем Севере.

С помощью сжатого азота нефтегазовая промышленность решает те задачи, в которых требуются давление, и обеспечение взрывобезопасности и пожаробезопасности.

К таким задачам относятся:

- проверка надежности емкостей под давлением и трубопроводов (с помощью подачи в них инертного азота);
- продувка азотом трубопроводов и емкостей, осушение и удаление кислорода с целью предотвращения коррозии;
- тушение подземных пожаров и прочих возгораний в закрытых объемах азотом;
- использование сжатого азота для работы пневмооборудования;
- выравнивание давления между технологическими емкостями, создание инертной газовой подушки над агрессивными жидкостями в резервуарах;
- продувка поршневого компрессора.

На сегодняшний день, система подготовки и распределения азота имеется практически на любом промышленном нефтегазовом объекте, так как закупка и поставка азота в отдельных тарах слишком высока в стоимости и нецелесообразна. Автономная система подготовки азота позволяет постоянно поддерживать в работоспособности оборудование объекта предприятия в его ежедневной деятельности и проводить на нем техническое обслуживание осмотры и замены, не прибегая к сторонней помощи

На нефтегазодобывающей платформе «Пильтун-Астохская-Б» предусмотрена система подготовки и подачи азота для собственных нужд. Данная система представляет собой блочную установку мембранного типа компании Genetop, установленную ниже по потоку системы подготовки технологического воздуха, которая предназначена для получения газообразного азота.

Назначение системы азота состоит в обеспечении продувки азотом оборудования и трубопроводов с целью предотвращения возникновения взрывоопасной атмосферы в системе. Кроме того, необходима первичная подача азота для продувки факельного коллектора.

Воздух компримируется, очищается и осушается в блоке подготовке осушенного воздуха и подается на потребителей, одним из основных является блок генерации азота из компримированного, очищенного и осушенного воздуха, проходящего через мембраны установки под давлением, отделяется азот (рис. 1), который впоследствии распределяется на бытовые нужды платформы. Распределение азота регулируется с помощью запорной арматуры шарового типа с автоматическим приводом, а также контрольными регулирующими клапанами с пневмоприводом. В целях компенсации скачков давления предусмотрена расширительная труба, которая врезана в трубопровод на выходе из установки.

Система не предусматривает аккумулялирующего оборудования, так как процесс выделения азота из подготовленного воздуха может происходить практически моментально и непрерывно, а в случае выхода из строя установки предусмотрены запасные цилиндры с азотом, объем которых рассчитан на время перезапуска блока подготовки азота.

Предпочтение такому роду установки отдается из-за ее малогабаритности, так как именно этот параметр имеет огромное значение в условиях ограниченного пространства платформы.

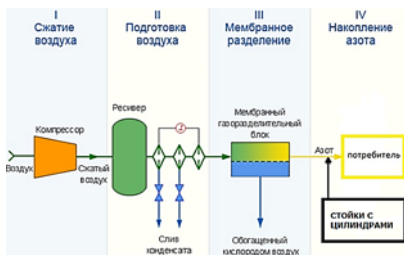


Рисунок 1 – Технологическая схема блок подготовки азота

Однако несмотря на вышеперечисленные преимущества блока получения азота, данная схема технологического процесса по подготовке и распределению азота на платформе имеет ряд недостатков, которые влияют как на производственную эффективность, так и на материальные затраты при обслуживании системы.

Отсутствие буферной емкости критически сказывается на производственные процессы при неравномерном потреблении азота. Так как стойки с запасными цилиндрами предназначены для экстренного использования, эксплуатация их в целях компенсации пикового потребления азота не предусмотрена.

Блок подготовки азота состоит из угольных и коагулирующих фильтрующих элементов, которые предназначены для дополнительной очистки воздуха перед его сепарацией. Мембранные модули находятся в цилиндрическом корпусе из нержавеющей стали марки 316. Корпус каждого мембранного модуля заполнен цилиндрическим пучком мембран из полых полимерных волокон.

Сепарация газов происходит при контакте сжатого воздуха с мембранами. «Быстрые» газы (кислород,  $\text{CO}_2$  и пары воды) быстро проникают сквозь стенки волокна и выходят при атмосферном давлении через штуцер сброса на боковой стороне модуля.

В процессе разделения мы получаем чистый азот, который поступает в линию потребителей. Пиковое потребление азота на платформе ежедневно варьируется. Он используется как постоянно, так и кратковременно установками, системами, а также рабочим персоналом для всех различных уплотнений и продувок с целью предотвращения возникновения взрывоопасной среды. Несмотря на свои незначительные объемы, блок способен выдавать достаточное количество инертного газа для осуществления продувок и уплотнений критического оборудования. Однако в случае одновременного возникновения потребности в дополнительных временных операциях (продувка камеры скребка для его запуска, продувка кожуха фильтров очистки пластовой воды и т.д.) требующих использования азота, возникает проблема с нехваткой производительности установки. Такие моменты сказываются на время для выполнения кратковременных операций, которое, в свою очередь, критически влияют на технологический процесс платформы и отрицательно сказываются на оборудовании.

Для решения проблемы потребления азота в пиковые промежутки времени необходимо увеличить либо производительность установки, либо обеспечить постоянно возобновляемый запас инертного газа. В первом случае решение невозможно, так как установки с более высокой производительностью имеют большие габариты, что является недоступным в условиях ограниченного рабочего пространства. Выходом в данной ситуации будет применение ресивера на выходе из блока подготовки азота, который будет аккумулировать подготовленный азот и являться буферной емкостью. Во время низкого расхода его запасный объем будет аккумулировать ресивер и выдавать в моменты пикового потребления. Таким образом, можно избежать падения давления азота в критическом оборудовании, простоев в работе. За счет установки ресивера вертикального типа можно существенно сэкономить рабочее пространство, таким образом избавиться от установки громоздкого и дорогостоящего оборудования в условиях, где этому не предоставляется возможности. Введение ресивера в технологическую схему производства и распределения азота даст наиболее эффективный результат и устранил упомянутые проблемы (рис. 2). Установка ресивера не займет больших затрат, а его эффективность окупится через 5 лет. Он не займет большого пространства, которое так важно в условиях разработки в шельфе. Основная задача ресивера - компенсация неравномерностей потребления, поэтому его введение в схему подготовки азота даст огромную уверенность в стабильность производственных процессов.

## Заключение

Данная модернизация решит проблему, пиковых нагрузок. Изменение в конструкции позволит исключить присутствие обслуживающего персонала и решит проблему неравномерности потребления азота. Это исключит моменты простоя в подаче азота к критическим его потребителям, так как не будет необходимости открывать цилиндры - с их задачами полностью справится ресивер. Установка такого ресивера позволит решить не только технологическую проблему, связанную с пиковым потреблением азота на объекте, но и сократит при этом финансовые расходы на проведение модернизации системы. В результате данной модернизации системы экономия за 15 лет работы установки составит около 6 200 000 рублей.

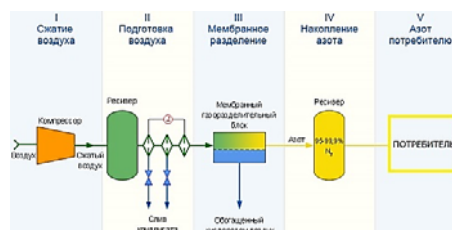


Рисунок 2 – Технологическая схема блока подготовки азота с ресивером

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мембранные технологии в установках получения азота из воздуха / Ю. Л. Кузнецов, А. В. Бураков, А. С. Перминов, С. Н. Серебренников // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – № 6(59). – С. 69-71. – EDN ZMZNJZ.
2. Султанов, Н. З. Мембранные установки для получения газообразного азота из воздуха / Н. З. Султанов, А. И. Сергеев, А. В. Уханов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 01–03 февраля 2017 года / Оренбургский государственный университет. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. – С. 242-246. – EDN YKCPRV.
3. Дытнерский, Ю. И. Мембранное разделение газов / Ю. И. Дытнерский, В. П. Брыков, Г. Г. Каграманов. – Москва : Издательство Химия, 1991. – 344 с. – EDN WOHNPX.
4. Кихтенко, О. В. Участие азотных компрессорных станций типа ТГА в операциях по повышению нефтеотдачи пластов / О. В. Кихтенко // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 7(186). – С. 78-81. – EDN RGPMYB.
5. Голованчиков, А. Б. Моделирование процесса подачи азота под давлением из ресивера по трубопроводу на пожаротушение / А. Б. Голованчиков, Л. В. Кетат, А. Б. Дулькин // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – № 1(104). – С. 61-64. – EDN PVGYKD.

УДК 665.664.32

Истомина Маргарита Сергеевна, студент ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»;

Istomina Margarita Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Шакирова Ольга Григорьевна, доктор химических наук, доцент ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»;

Shakirova Olga Grigorievna, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## АМИНОВАЯ ОЧИСТКА КИСЛЫХ ГАЗОВ

### AMINE PURIFICATION OF ACID GASES

Аннотация. Метод химической абсорбции с применением алканоломинов является одним из самых эффективных способов очистки газов. Он широко применяется в промышленности и нашел свое наибольшее распространение благодаря своей высокой избирательности по отношению к кислородсодержащим компонентам. Такие процессы способны обеспечить не только высокую степень очистки газа от  $H_2S$  и  $CO_2$ , но и значительно улучшить качество выходящего продукта.

Abstract. The chemical absorption method using alkanolamines is one of the most effective ways to purify gases. It is widely used in industry and has found its greatest distribution due to its high selectivity with respect to oxygen-containing components. Such processes can provide not only a high degree of gas purification from  $H_2S$  and  $CO_2$ , but also significantly improve the quality of the output product.

Ключевые слова: очистка газа, абсорбция, газ, абсорбент, алканоамин.

Key words: gas purification, absorption, gas, absorbent, alkanamine.

### **Введение**

Использование алканоламинов позволяет эффективно удалять вредные примеси из газовых потоков, что особенно важно в процессах нефтегазовой добычи и переработки. Благодаря химической абсорбции, происходит активное взаимодействие компонентов газа с раствором алканоламина, что приводит к эффективной очистке от сероводорода и диоксида углерода.

### **Основная часть**

Газ, используемый в технологических процессах, должен содержать минимальное количество кислотных компонентов, чтобы избежать коррозии труб и оборудования. Сернистые соединения, такие как сероводород, меркаптаны,  $CO_2$  и  $CS_2$ , могут загрязнять окружающую среду и оказывать вредное воздействие на человеческий организм. При сгорании этих соединений образуется диоксид серы, который является балластом и увеличивает затраты на транспортировку газа. Наличие  $CO_2$  в газе может затруднить дальнейшую его переработку (выделение этана, гелия и другие процессы, связанные с глубоким охлаждением газа).

Глубокое охлаждение газа требует значительных ресурсов и времени, а наличие диоксида серы в образовавшемся газе становится дополнительным фактором, снижающим эффективность процесса переработки. Этот балласт затрудняет не только сам процесс, но и может повлечь за собой дополнительные расходы на очистку газа от вредных примесей.

Важно учитывать, что увеличение затрат на транспортировку газа из-за диоксида серы может также отразиться на конечной стоимости продукции, что делает этот аспект еще более значимым для производителей и потребителей. В связи с этим, разработка эффективных методов очистки и переработки газа становится ключевым аспектом для улучшения производственных процессов и снижения экологической нагрузки.

Важно отметить, что абсорбенты, используемые в промышленности, должны соответствовать определенным требованиям. Например, они должны обладать высокой поглотительной способностью, что позволяет эффективно улавливать вредные вещества. Низкая упругость паров также является существенным фактором, обеспечивающим стабильность процесса абсорбции.

Селективность абсорбентов играет ключевую роль в том, какие вещества они могут удерживать, а некоррозийность и химическая стабильность важны для обеспечения долговечности оборудования. Недефицитность и нетоксичность являются неотъемлемыми характеристиками безопасности при работе с абсорбентами. Низкая вязкость и теплота взаимодействия с  $H_2S$  и  $CO_2$  также важны для обеспечения эффективности процесса абсорбции и минимизации потерь энергии.

Эффективность работы установок очистки газа напрямую зависит от поглотительной способности и вязкости используемого абсорбента. Эти характеристики определяют затраты электроэнергии на циркуляцию абсорбента и влияют на общую эффективность процесса очистки. Стабильность абсорбента и его паров, а также упругость, оказывают существенное влияние на минимизацию потерь абсорбента в процессе работы установок очистки. Кроме того, важную роль играют коррозионные свойства абсорбента, которые определяют не только требования к материалу оформлению оборудования, но и его долговечность и надежность в работе.

Существует множество известных соединений, которые используются в процессе очистки газа от сероводорода ( $H_2S$ ) и углекислого газа ( $CO_2$ ). Среди них можно выделить такие вещества, как моноэтаноламин (МЭА), диэтаноламин (ДЭА), триэтаноламин (ТЭА), дигликольамин (ДГА), диизопропаноламин (ДИПА) и метилдиэтаноламин (МДЭА). Эти соединения играют важную роль в процессе очистки газа и находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Важно отметить, что каждое из этих соединений имеет свои особенности и преимущества при использовании в процессе очистки газа. Понимание их свойств позволяет выбирать наиболее подходящий вариант для конкретных задач и обеспечивать эффективную работу систем очистки газа от  $H_2S$  и  $CO_2$ .

Моно- и диэтаноламин - два амина, которые широко используются в различных отраслях промышленности. Но стоит отметить, что особенно эффективным оказывается применение диэтанолamina (ДЭА) в случаях, когда в газовой среде присутствуют не только  $H_2S$  и  $CO_2$ , но и  $COS$  и  $CS_2$ , которые могут вызвать значительные потери для моноэтанолamina (МЭА) из-за необратимой реакции. Диэтаноламин в таких условиях образует легкодиссоциируемые соединения на стадии десорбции, что обеспечивает более эффективную очистку газа.

Несмотря на это, использование триэтанолamina (ТЭА) для очистки газа не получило широкого распространения из-за низкой поглотительной способности и стабильности этого амина. Более предпочтительным вариантом является третичный амин - метилдиэтаноламин (МДЭА), который эффективно извлекает  $H_2S$  в присутствии  $CO_2$ . Кроме того, в зависимости от конкретных условий процесса, могут применяться также смеси различных этанолamines для оптимальной очистки газовой среды от сероводорода и углекислого газа.

При выборе рабочего раствора для очистки газа, необходимо учитывать множество факторов, в том числе доступность и цену алканолamines. Однако, помимо этих критериев, также важно руководствоваться другими положениями.

Селективное извлечение сероводорода из газовых смесей является важным процессом в промышленности. Для этой цели наиболее предпочтительными являются третичные амины, такие как метилдиэтаноламин (МДЭА). Они обладают высокой селективностью к  $H_2S$ , что делает их эффективными в этом процессе.

Применение первичных алканолamines считается наиболее предпочтительным из-за их высокой реакционной способности в процессе извлечения сероводорода. Однако из-за образования нерегенерируемых побочных продуктов и больших потерь амина, первичные амины не могут быть использованы в случае наличия  $COS$  в газе. В таких ситуациях более предпочтительным оказывается ДЭА.

При выборе амина для процесса извлечения  $H_2S$  также необходимо учитывать другие продукты деградации амина. Таким образом, оптимальный выбор амина зависит не только от его реакционной способности, но и от его способности к регенерации и минимизации побочных продуктов.

Для обеспечения эффективной очистки газа от вредных примесей, таких как сероводород, углекислый газ и серорганические соединения, применяется инновационный метод комбинированной очистки. Он основан на использовании специального поглотителя, который состоит из амина и органического растворителя, например, эфиров полигликолей.

Этот подход позволяет не только улучшить качество очищенного газа, но и снизить затраты на процесс очистки. Комбинированный поглотитель способен эффективно улавливать различные вредные компоненты, обеспечивая безопасность и экологическую чистоту производственных процессов.

При работе с аминами в промышленности необходимо уделить особое внимание их концентрации, которая играет ключевую роль в процессе. Существует разнообразие концентраций для различных типов аминов: например, МЭА обычно содержит 15-20%, ДЭА - 20-30%, МДЭА - 30-50%. Высокая концентрация амина может значительно



упростить технологический процесс за счет снижения кратности циркуляции раствора, что ведет к экономии энергии и уменьшению размеров необходимого оборудования.

При увеличении концентрации амина следует учитывать возможное повышение температуры насыщенного раствора и абсорбцию кислых газов. Это может привести к увеличению давления кислых газов над раствором, что в свою очередь повлияет на процесс массопереноса. Однако, правильно подобранная концентрация амина поможет оптимизировать производственные процессы и снизить затраты на нагрев и перекачку раствора, что является важным фактором для эффективной работы промышленных установок.

### **Заключение**

Таким образом, метод химической абсорбции с алканаминами не только обеспечивает высокую степень очистки газов, но также является экономически и экологически эффективным решением для многих отраслей промышленности.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Очистка углеводородных газов этаноламином: [электронный ресурс] - URL: <https://pumpunion.ru/articles/purification-of-hydrocarbon-gases-with-ethanolamines/> (дата обращения: 07.04.2024).
2. Моделирование и совершенствование технологии аминовой очистки природных газов на Астраханском газоперерабатывающем заводе: [электронный ресурс] - URL: [https://gaschemistry.ru/science/publication/2014/elibrary\\_23051501\\_19381997.pdf](https://gaschemistry.ru/science/publication/2014/elibrary_23051501_19381997.pdf) (дата обращения: 07.04.2024).
3. Абсорбционная очистка газов от кислых компонентов: [электронный ресурс] - URL: [https://moodle.kstu.ru/pluginfile.php/574997/mod\\_resource/content/1/АМИНОВАЯ%20ОЧИСТКА%20ПРИРОДНОГО%20ГАЗА.pdf](https://moodle.kstu.ru/pluginfile.php/574997/mod_resource/content/1/АМИНОВАЯ%20ОЧИСТКА%20ПРИРОДНОГО%20ГАЗА.pdf) (дата обращения: 07.04.2024).
4. Аминовая очистка: [электронный ресурс] - URL: Аминовая очистка / Газ-Серф (gazsurf.ru) (дата обращения: 07.04.2024).
5. Обработка аминовым газом: [электронный ресурс] - URL: Amine gas treating - Wikipedia (turbopages.org) (дата обращения: 07.04.2024).

УДК 665.777.4

Карпенко Елена Сергеевна, студент ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»,

Karpenko Elena Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University.

Проценко Александр Евгеньевич, кандидат химических наук, доцент ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»,

Protsenko Alexander Evgenyevich, candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University.

### **ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ КОКСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТРУБАХ ПЕЧИ УЗК**

### **STUDYING THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF COKE DEPOSITS ON THE PIPES OF AN ULTRASOUND FURNACE**

Аннотация. В статье анализируется элементный состав, физические и химические свойства коксовых отложений. В статье приведено сравнение между товарным коксом и коксовыми отложениями на трубах печи УЗК. Поставлены опыты по растворению коксовых отложений в диметилсульфооксиде и растворе диметилсульфооксида и соляной кислоты (10-50%)

Abstract. The article analyzes the elemental composition, physical and chemical properties of coke deposits. The article provides a comparison between commercial coke and coke deposits

on the pipes of ultrasonic furnaces. Experiments were carried out on dissolving coke deposits in dimethyl sulfoxide and a solution of dimethyl sulfoxide and hydrochloric acid (10-50%)

Ключевые слова: коксовые отложения, элементный состав, диметилсульфоксид.

Key words: coke deposits, elemental composition, dimethyl sulfoxide.

### **Введение**

При работе установки замедленного коксования сырье поступает через печь, где нагревается от 498-510°C. Вследствие чего на трубах печи возникают коксовые отложения, уменьшая проектную пропускную способность. Раз в год производится чистка труб печи УЗК[1].

На большинстве НПЗ очистка производится гидромеханическим методом[2]. При этом методе возникает несколько проблем: из-за механического воздействия труба истончается, что приводит к более частой их замене. Также из-за внутренних повреждений во время эксплуатации труба быстрее подвергается коррозии и эрозии[3].

Целью работы является изучить элементный состав и свойство коксовых отложений.

### **Основная часть**

На сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400 были исследованы два образца: коксовые отложения и товарный кокс. В результате анализа были выявлено, что состав коксовых отложений неоднороден. Образец может содержать от 50 до 80%. При этом содержания углерода в товарном коксе постоянно и составляет 99%.

Таблица 1 – Элементный состав коксовых отложений

Образец	Элемент	Содержание, %
Коксовые отложения	C	56.00
	O	15.49
	Na	8.82
	S	7.36
	Cl	12.32
Товарный кокс	C	99,07
	S	0,93

С целью удаления коксовых отложений проводилось исследование их растворимости в солянокислых растворах диметилсульфоксида различной концентрацией при температуре кипения.

После был проведён элементный анализ растворов и осадков, который показал наличие элементов, входящих в состав коксовых отложений в растворах. Максимальные концентрации были получены в 10 % растворе солянокислого диметилсульфоксида.

### **Заключение**

Таким образом, коксовые отложения по составу существенно отличается от товарного кокса. 10 % раствор солянокислого диметилсульфоксида растворяет самое большое количество веществ, соответственно в осадках остаются меньше всего.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Авторское свидетельство № 1407947 А1 СССР, МПК С10В 43/08. Способ очистки газосборника коксовых печей от высоковязких отложений : № 3992830 : заявл. 05.10.1985 : опубл. 07.07.1988 / Б. И. Быхало, В. С. Шинев, В. Т. Передерий ; заявитель АВДЕЕВСКИЙ КОКСОХИМИЧЕСКИЙ

2. Мухамадеев, Д.Х. Способы очистки печных труб установок замедленного коксования от коксовых отложений / Д. Х. Мухамадеев, Г. Г. Валявин, В. П. Запорин // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2014. – № 2. – С. 166-180. – EDN STGXXF.

3. Патент № 2575761 С2 Российская Федерация, МПК С10В 43/02. Способ и устройство автоматического удаления углеродных отложений из проточных каналов коксовых печей "без рекуперации" и "с рекуперацией тепла" : № 2013112665/05 : заявл. 16.08.2011 : опубл. 20.02.2016 / Р. Ким ; заявитель ТюссенКрупп Уде ГмбХ. – EDN XLCGLM.

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 «Машиностроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Schetinin Vladimir Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mechanical Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ЗАВИСИМОСТЬ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ОТ ПЛОЩАДИ ЧАСТИЧНО ПОРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР**

### **DEPENDENCE OF THE OUTPUT CHARACTERISTICS OF HIGH-SPEED SPINDLE ASSEMBLIES ON THE AREA OF THE PARTIALLY POROUS SURFACE OF GAS-STATIC BEARINGS**

Аннотация. Рассмотрено применение в конструкциях высокоскоростных шпиндельных узлов металлообрабатывающих станков газостатических подшипников с частично пористой стенкой вкладыша. Показано, что задача определения выходных характеристик шпиндельного узла в зависимости от относительной площади частично пористой поверхности вкладыша газостатических опор шпинделя остается практически не решенной. Проанализированы нагрузочные и жесткостные характеристики газовой опоры в зависимости от ее доли пористости.

Abstract. The use of gas-static bearings with a partially porous liner wall in the designs of high-speed spindle assemblies of metalworking machines is considered. It is shown that the problem of determining the output characteristics of the spindle assembly depending on the relative area of the partially porous surface of the liner of the gas-static spindle supports remains practically unsolved. The load and stiffness characteristics of a gas support depending on its porosity fraction are analyzed.

Ключевые слова: шпиндельный узел, газостатическая опора, относительная пористость подшипника.

Key words: spindle assembly, gas-static support, relative porosity of the bearing.

#### **Введение**

Повышение качества обработки изделий резанием во многом достигается путем высокоскоростной обработки на финишных операциях, что обеспечивается шпиндельными узлами (ШУ) станочного оборудования.

Для диаметров шпинделя до 20 мм в конструкции таких узлов применяют, как правило, прецизионные шарикоподшипники. При диаметрах шпинделя более 20 мм используют бесконтактные опоры. Одними из таких опор являются газостатические подшипники с частично пористой стенкой вкладыша, позволяющие обеспечить достаточно высокие выходные характеристики ШУ [1; 2] при их незначительной стоимости и эксплуатационных затратах.

#### **Основная часть**

В работах [3; 4] проведены комплексные исследования эксплуатационных характеристик таких опор и выходных характеристик ШУ в зависимости от различных режимных и конструктивных параметров. Однако следует отметить, что во всех исследованиях детально не затронут вопрос о зависимости выходных характеристик ШУ от относительной площади частично пористой поверхности вкладыша (отношение суммарной площади пористых ограничителей расхода ко всей площади газовой опоры, находящейся под шипом) в широком диапазоне изменения этого параметра, и особенно в

гибридном режиме работы подшипника (при вращении шпинделя), когда грузоподъемность опоры обуславливают газостатические и газодинамические силы.

Так, в работах [4; 5] представлены результаты исследований характеристик частично пористого подшипника с круглыми вставками с относительной площадью частично пористой поверхности 15% и 100%. На рисунке 1 показаны зависимости относительной несущей способности газостатической опоры  $C_Q$ , которая представляет собой отношение текущей нагрузки к максимально возможной, и коэффициента жесткости смазочного слоя  $k_S$ , характеризующий скорость изменения  $C_Q$  с изменением относительного эксцентриситета, для варианта относительной пористости поверхности 15% (вариант а) и полностью пористой поверхности при гибридном режиме работы опоры.

Из представленного рисунка видно, что при рабочем относительном эксцентриситете  $\varepsilon = 0,6$  и числа сжимаемости (быстроходности вала)  $B = 0,2 \dots 0,4$  жесткость опоры за счет действия газодинамических сил выше у частично пористой опоры по сравнению с полностью пористым подшипником. При этом несущая способность остается выше у опоры с полностью пористой поверхностью вкладыша.

Выполненный анализ результатов исследований приводит к необходимости определения такого значения относительной площади частично пористой поверхности вкладыша подшипника, при которой будет обеспечиваться высокая жесткость при требуемой нагрузочной способности. С этой целью разработана методика расчета выходных характеристик ШУ с опорами на газовой смазке и программный комплекс.

Ниже представлены промежуточные результаты теоретических исследований.

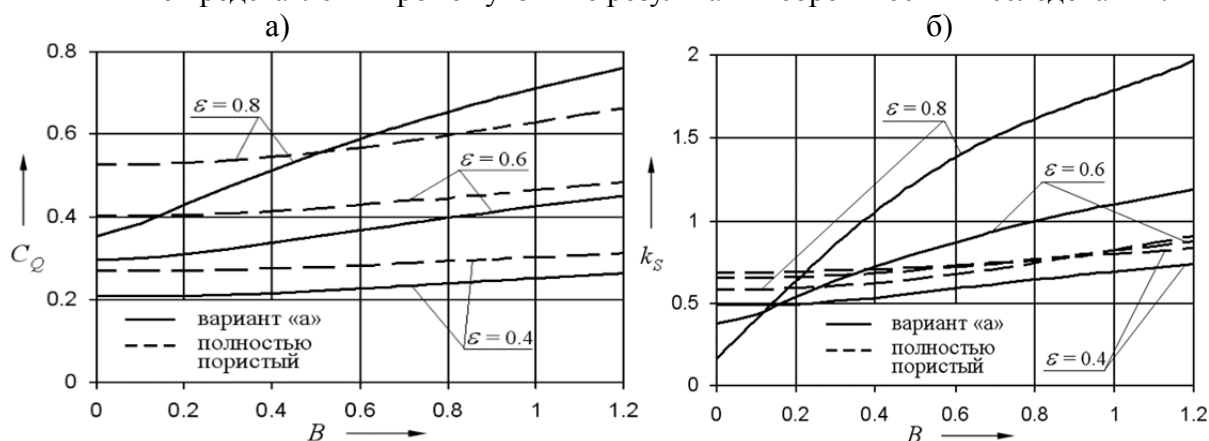


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента несущей способности  $C_Q$  (а) коэффициента жесткости смазочного слоя  $k_S$  (б) от числа сжимаемости  $B$  и относительного эксцентриситета  $\varepsilon$  [4]

В расчетах изменение значения относительной площади частично пористой поверхности вкладыша опоры достигалось путем варьирования числа пористых вставок  $N_{вст}$  в ряду наддува, и принималось равным 4, 6, 8, что составляет отношение пористой поверхности вкладыша к непроницаемой  $S_{вст}/S_{под} = 0,1, 0,2$  и  $0,3$  соответственно. Зависимости коэффициента несущей способности  $C_Q$  и коэффициента жесткости смазочного слоя  $k_S$  от частоты вращения вала  $n$  показаны на рисунке 2.

Анализ, представленных зависимостей на рисунке 2 (а) показывает, что с ростом частоты вращения значение коэффициента несущей способности частично пористой опоры существенно зависит на частотах до  $60000 \text{ мин}^{-1}$  и менее зависим на более высоких частотах. Это явление можно объяснить эффектом самогенерации перепада давления.

Анализируя зависимости жесткости (рисунок 2, б), можно сделать вывод, что, на частотах до  $30000 \dots 40000 \text{ мин}^{-1}$  большая площадь пористой поверхности дает лучшие показатели жесткости смазочного слоя.

Сопоставив зависимости нагрузочных и жесткостных характеристик можно сделать заключение, что шпиндельные узлы, применяемые для режущего инструмента большого диаметра, когда скорость резания достигается за счет размера самого инструмента достаточно частот вращения до  $40000 \text{ мин}^{-1}$  (как в рассматриваемом примере). В этом случае необходимо увеличивать площадь пористой поверхности в опорах шпиндельных узлов. Соответственно, когда применяется мелкогабаритный инструмент (малый диаметр) требуется очень большая быстроходность до  $100000 \text{ мин}^{-1}$ , тогда целесообразнее применять шпиндельные узлы с опорами, имеющими меньшую площадь пористой поверхности.

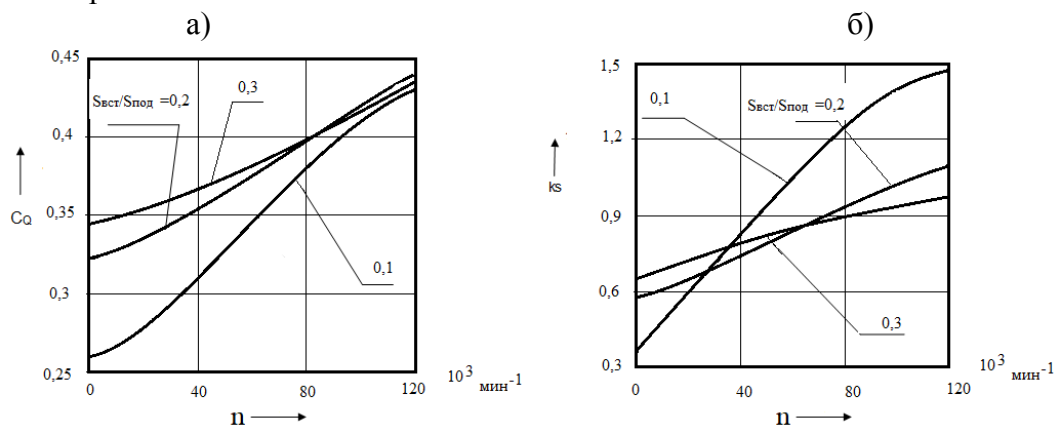


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента несущей способности  $C_Q$  (а) и коэффициента жесткости  $k_s$  (б) от частоты вращения вала  $n$  и доли пористой поверхности  $S_{\text{вст}}/S_{\text{под}}$

#### Заключение

В настоящее время в КнАГУ проводятся работы по созданию экспериментального стенда для уточнения и корректировки методики расчета.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Космынин, А. В. Основы проектирования высокоскоростных шпиндельных узлов на газомангнитных опорах : монография / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, А. С. Хвостиков ; А. В. Космынин, В. С. Щетинин, А. С. Хвостиков ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования, "Комсомольский-на-Амуре гос. технический ун-т". – Владивосток : Дальнаука, 2011. – 181 с. – ISBN 978-5-8044-1227-3. – EDN QNDAJN.
2. Космынин, А.В. Газовые подшипники высокоскоростных турбоприводов металлообрабатывающего оборудования / А. В. Космынин, В. С. Виноградов. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 326 с.
3. Космынин, А.В. Выходные характеристики высокоскоростных шпиндельных узлов на газовых опорах: монография / А.В. Космынин, В.С. Щетинин, В.И. Шаломов [и др.]; по общей редакцией А.В. Космынина; Министерство образования и науки Российской Федерации, Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. – М.: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2011. – 178 с.
4. Частично пористые газостатические опоры шпиндельных узлов : теория и эксперимент / А. В. Космынин [и др.] ; М-во образования и науки Российской Федерации. – Москва : Академия Естествознания, 2011. – 125 с. – ISBN 978-5-91327-138-9. – EDN QNCXFP.
5. Шпиндельные узлы металлорежущих станков на опорах с внешним наддувом газа для финишной обработки отверстий малого диаметра / В. С. Щетинин, А. В. Космынин, А. В. Ульянов, А. А. Ваньков // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-19. – С. 4192-4196. – EDN TWTRMZ.

УДК 621.791

Кочнев Евгений Анатольевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kochnev Evgeny Anatolyevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Плетнев Никита Олегович, старший преподаватель кафедры «Технология сварочного и металлургического производства имени В.И. Муравьева», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pletnev Nikita Olegovich, Senior lecturer of the Department «Technology of Welding and Metallurgical Production named after V.I. Muravyev», Komsomolsk-na-Amure State University

Клешнина Оксана Николаевна, доцент кафедры «Технология сварочного и металлургического производства имени В.И. Муравьева», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kleshnina Oksana Nikolaevna, Associate Professor of the Department «Technology of Welding and Metallurgical Production named after V.I. Muravyov», Komsomolsk-na-Amure State University

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТИТАНОВЫХ ЛОПАТОК ИМПЕЛЛЕРА

### DEVELOPMENT OF WELDING TECHNOLOGY FOR TITANIUM IMPELLER BLADES

Аннотация. В работе представлена технология сварки лопаток импеллера из титанового сплава Titan Grade 5, позволяющая изготавливать лопатки непосредственно на предприятии. До настоящего времени представленная конструкция импеллера являлась монолитной и поставлялась из-за рубежа. В работе рассматривается способ изготовления лопатки импеллера силами Амурского ГМК. Подобран тип сварного соединения, сварочные материалы и методы контроля качества. Определено, что представленная технология является рациональной и позволяет импортозаместить зарубежный аналог. Abstract. The paper presents the technology of welding impeller blades made of titanium alloy Titan Grade 5, which allows manufacturing blades directly at the enterprise. To date, the presented impeller design has been monolithic and supplied from abroad. The paper considers a method for manufacturing an impeller blade by the Amur MMC. The type of welded joint, welding materials and quality control methods have been selected. It is determined that the presented technology is rational and allows for import substitution of a foreign analogue. Ключевые слова: сварка, неразъемное соединение, титановый сплав, лопатка импеллера. Key words: welding, all-in-one connection, titanium alloy, impeller blade.

#### Введение

Лопатка импеллера это конструкция, состоящая из двух частей: крепежного хвостовика и рабочей плиты изготовлена из титанового сплава марки Titan Grade 5. Чертеж и внешний вид лопатки с размерами представлен на рисунке 1.

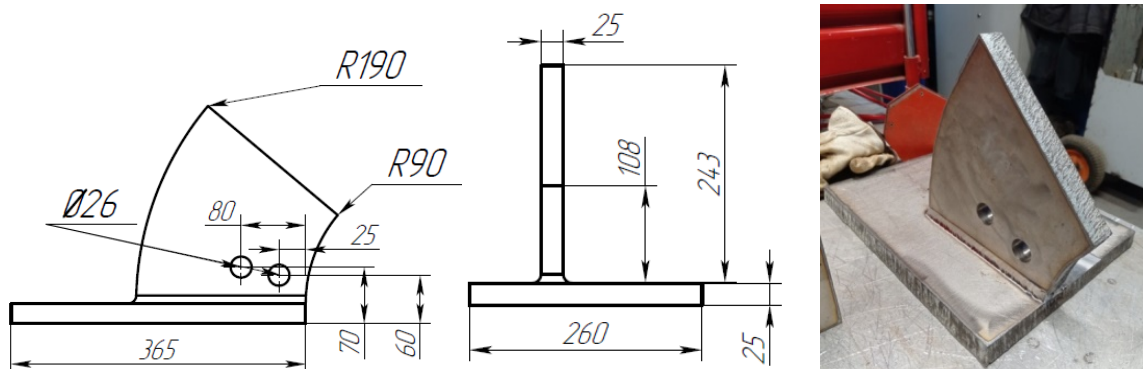


Рисунок 1 – Титановая лопатка импеллера

### Основная часть

Не смотря на то, что лопатки импеллера изготовлены из высокопрочного титанового сплава, в условиях агрессивной среды автоклава они подвержены многочисленным видам износа (см. рисунки 2).

Скорость износа деталей оборудования зависит от следующих причин:

- условий и режима работы;
- материала деталей;
- смазки поверхностей трения;
- усилия и скорости скольжения;
- температуры в зоне контакта деталей;
- состояния окружающей среды (запыленность и др.).

Виды коррозионно-механического изнашивания:

- окислительное изнашивание;
- изнашивание при фреттинг-коррозии.

Виды и характеристики изнашивания:

- механическое изнашивание – изнашивание в результате механического воздействия;
- коррозионно-механическое изнашивание - изнашивание в результате механического воздействия, сопровождаемого химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой;
- абразивное изнашивание - механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия твердых тел или твердых частиц;
- гидроэрозионное изнашивание - изнашивание поверхности в результате воздействия потока жидкости;
- гидроабразивное изнашивание - абразивное изнашивание в результате действия твердых тел или твердых частиц, увлекаемых потоком жидкости;
- усталостное изнашивание - механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя;
- окислительное изнашивание - коррозионно-механическое изнашивание, при котором преобладает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей окружающей средой.

В данном случае происходит аварийный (прогрессирующий) износ. Титановые лопатки подвергаются всеми вышеперечисленными видами изнашивания, что свидетельствует их внешний вид, изменение формы и небольшой срок службы [1, 2].



Рисунок 2 – Аварийный износ титановых лопаток

Таким образом, задача разработки технологического процесса сварки лопатки из титанового сплава, включающий сварку в среде защитных газов [3-4], является актуальной, также учтены возможные дефекты [5].

Для достижения поставленной задачи было сделано:

- проведен технологический анализ;
- выбран и обоснован способ сварки;
- проведены расчеты режимов аргонодуговой сварки;

- выбрано и обосновано сборочное и сварочное оборудование;
- разработана технология сварки лопатки из титанового сплава.

Блок-схема технологического процесса представлена на рисунке 3.

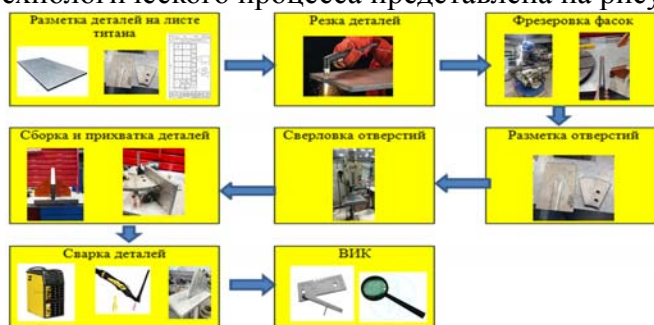


Рисунок 3 – Блок-схема технологического процесса сварки лопаток



Рисунок 4 – Изготовление лопатки на производстве:  
а – сборка на прихватки; б – сварка деталей

### Заключение

При производстве детали были учтены особенности работы с титаном: трудная механическая обработка и необходимость хорошей защиты шва при сварке. Изготовление лопатки возможно в рамках действующего предприятия силами сотрудников и имеющимся оборудованием. Рассчитан экономический эффект, который показал целесообразность применения данной технологии на предприятии. В текущий период жесткого санкционного режима на экономику Российской Федерации, которая была ранее зависима от импорта оригинальных материалов и оборудования, применения данной технологии доказывает, что можно изготавливать детали оборудования собственными силами, не уступающими по своим свойствам и качеству оригинальным.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Круковский, К.В. Закономерности изнашивания титана ВТ1-0 и сплавов ПТ-3В и ВТ6 с крупнозернистой и ультрамелкозернистой структурой : специальность 05.16.01 "Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов", 01.04.07 "Физика конденсированного состояния": дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук / Круковский Константин Витальевич. – Томск, 2012. – 171 с. – EDN QFYOOV.
2. Гуревич, С.М. Справочник по сварке цветных металлов / С. М. Гуревич. – Киев : Наук. думка, 1981. – 608 с.
3. Овчинников, В.В., Учеваткина, Н.В., Гуреева, М.А. Металловедение сварки титановых сплавов – Инфра-Инженерия, 2020.
4. Винокуров, В. А. Теория сварочных деформаций и напряжений / В. А. Винокуров, А. Г. Григорьянц. – Москва : Научно-техническое издательство "Машиностроение", 1984. – 280 с. – EDN YNQBPF.
5. Григорьев, В. В. Влияние дефектов на свойства неразъемных соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой титановых сплавов / В. В. Григорьев // Молодые ученые - Хабаровскому краю : Материалы XXI краевого конкурса молодых ученых и аспирантов, Хабаровск, 15–18 января 2019 года / Редакционная коллегия: И. Н. Пугачев, А. М. Сундуков, А. А. Самойлик. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2019. – С. 128-133. – EDN ZAEXNB.



УДК 661.961.6

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

Kravchenko Andrey Konstantinovich, student of 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 Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department «Mechanical Engineering», Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОЛОННЫ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНОЙ НАСАДКИ**

### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PRIMARY OIL REFINING COLUMN DUE TO THE USE OF CROSS-PRECISE PACKING**

Аннотация. В нефтеперерабатывающей промышленности серьезной проблемой является выбор контактного оборудования для эффективной работы колонн первичной переработки нефти и максимальной экономии электроэнергии. Предлагаемая схема вакуумных колонн с блоками перекрестноточных насадок позволяет достичь значительных производственных показателей за счет низкого гидравлического сопротивления, высокой эффективности массообмена и производительности.

Abstract. In the oil refining industry, a major challenge is the selection of contact equipment for the efficient operation of primary oil refining columns and maximum energy savings. The proposed scheme of vacuum columns with cross-flow packing blocks allows you to achieve significant production indicators due to low hydraulic resistance, high mass transfer efficiency and productivity.

Ключевые слова: ректификационная колонна, ректификация нефти, конструкции колонных аппаратов, контактные насадки, контактный модуль.

Key words: distillation column, oil rectification, column structures, contact nozzles, contact module.

#### **Введение**

Эффективность работы оборудования АВТ, на котором происходит первичное разделение нефти на базовые фракции, фактически определяет продуктовый баланс всего НПЗ. В тоже время оборудование АВТ является самым крупным энергопотребляющим блоком на НПЗ из-за энергоемкости самого процесса ректификации и большого объема перерабатываемого сырья.

Анализ научно-технической литературы показал, что там приведено достаточное количество способов реконструкции установки АВТ для интенсификации производства, но не анализируются причины их малоуспешной работы после модернизации, не разрабатываются направления данного процесса. А также в них отсутствуют подробные результаты исследования установок после модернизации. Чисто информационный характер подобных публикаций позволяет выделить основным направлением интенсификации, применение высокоэффективного контактного оборудования на ректификационных колоннах.

#### **Основная часть**

Реализация ресурсо- и энергосберегающих технологий предполагает осуществление оптимального выбора контактных устройств, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь более широкий диапазон рабочих нагрузок;
- обладать низким гидравлическим сопротивлением;
- обладать высокой эффективностью (коэффициент массо- и тепло-передачи);
- обладать простотой конструкции, удобством монтажа и эксплуатации;
- иметь низкую материалоемкость.

Проанализировав существующие типы колонн следует отметить **преимущества насадочных колонн с регулярными насадками**:

1. Они имеют меньшее гидравлическое сопротивление на высоту единицу переноса по сравнению с тарельчатыми колоннами. Это обусловлено затопленным режимом функционирования тарелок, при котором проходящий сквозь колонну газ преодолевает сопротивление, в сумме равное давлению столбов жидкости на всех тарелках колонны. Также можно отметить существенное отличие гидравлических сопротивлений колонн с регулярными насадками и тарельчатыми: его низкое значение у регулярных насадок обуславливает ректификацию под вакуумом в насадочных колоннах и понижение ректификационных затрат энергии как при атмосферном, так и высоком давлениях.

2. Способность функционировать при более высоких нагрузках по газу и жидкости по сравнению с тарельчатыми колоннами. Поскольку основные режимы работы у насадочных колонн с регулярными насадками достигают высоких значений (плотность орошения – выше  $150 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ; скорость газа – выше  $3,0\text{-}3,5 \text{ м}/\text{с}$ ), то это дает возможность внести конструктивные изменения в насадочные колонны (уменьшение их диаметра по сравнению с тарельчатыми).

3. Нечувствительность к перекосам (в отличие от тарельчатых колонн, особенно с ситчатыми тарелками, что является определяющим условием к жестким требованиям по их горизонтальности).

4. Низкая чувствительность к загрязнениям, которые вызывают забивку отверстий в тарелках у тарельчатых колонн.

По способу организации относительного движения контактирующих потоков жидкости и пара **колонны с регулярными насадками** делятся на: **противоточные и перекрестноточные**.

Многолетний опыт эксплуатации регулярных противоточных насадочных устройств выявил следующие **недостатки**:

1. Основной конструктивный недостаток регулярных противоточных насадочных устройств – совпадение сечений для прохода жидкостной и паровой фаз, что вызывает неравномерного распределения жидкостных и паровых нагрузок по высоте вакуумной колонны. В этой связи для обеспечения оптимального массообмена целесообразно внесение локальных изменений в конструкцию насадки, а именно: монтаж специальных просечных элементов (отверстий), что принудительно будет увеличивать расход потоков жидкости или пара. Однако подобная модификация повлечет за собой возникновение большого количества конфигураций конструкции для каждой парожидкостной нагрузки.

2. Чувствительность эксплуатации насадки в загрязненных средах.

3. Снижение диапазона устойчивости работы колонны в связи с потоком пара, подпирающим жидкость.

4. Высокие нагрузки по жидкости приводят к уменьшению к.п.д.

5. Ограничение применения «сильнопенящихся» жидкостей в связи с усложнением эксплуатации колонн.

6. Снижение эффективности разделения компонентов с малым поверхностным натяжением.

Применение **перекрестноточных насадок** [1-3] существенно повысило производительность эксплуатации ректификационных колонн.

**Перекрестноточная насадка** (рис.1) – это собранные в блок штампованные просечные листы, установленные по вертикале параллельно друг другу. Движение жидкостного потока реализуется сверху вниз, а парового – поперек жидкой фазы. На всех блоках в верхней части вмонтированы распределители жидкости безнапорного типа.

В насадке реализуется принцип перекрестноточного контакта газа и жидкости, что обеспечивает независимое от сечения для прохода жидкости регулирование сечения для течения газа в насадке. Это является отличительным преимуществом относительно тарелок, регулярных и насыпных насадок противоточного типа.

За счет конструктивной конфигурации допускается изменения габаритов блока насадки по длине, ширине и высоте, что предрасполагает к организации более эффективного контакта при неравнозначных расходах потоков газа и жидкости в колонне. При этом реализуются испытанные конструкции с применением в качестве основных элементов насадки просечных гофрированных листов.

В соответствии с принципом агрегатирования, каждый отдельный блок перекрестноточной насадки представляет из себя самостоятельный модуль, обладающий всеми техническими характеристиками тарельчатых насадок.

При построении колонны каждый слой перекрестноточной насадки имеет возможность реализовать собственную специфичную конструкцию и расположения модулей, как это показано на рис. 1.

Основные преимущества предложенной конструкции колонн с перекрестноточной насадкой:

1. Расширение диапазона паровых и жидкостных нагрузок в 1,5-2,5 раза до «захлебывания» колонны.

2. Нижняя граница диапазона работы насадки по газу отсутствует (в отличии от тарельчатых контактных устройств).

3. Перепад давления в насадке меньше в 2 раза относительно тарельчатых при одинаковых паровых и жидкостных нагрузках [4, 5].

Таким образом, в перекрестноточных насадках интегрированы преимущества тарельчатых устройств в организации боковых отборов и противоточных насадок (высокая производительность и массообменная эффективность, низкое гидравлическое сопротивление). А конструктивная конфигурация перекрестноточных насадок расширяет их область применения в колоннах с резкой неравномерностью распределения по высоте колонны паро- жидкостных нагрузок.

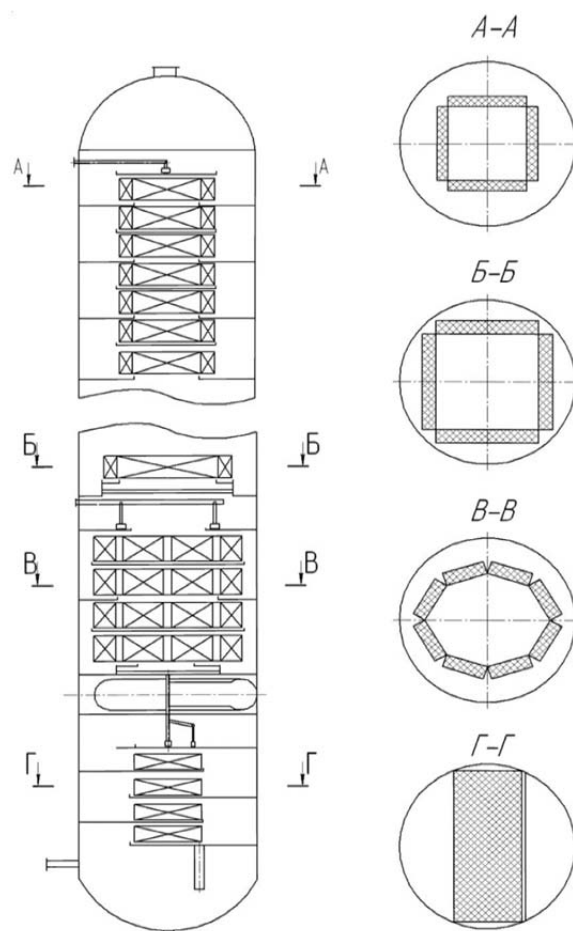


Рисунок 1 – Схема вакуумной колонны с модулями перекрестноточной насадки

## **Заключение**

Проведя анализ вариантов исполнения контактных устройств можно сделать вывод, что перекрёстноточные насадки обладают большой перспективой при проектировании и реализации энергосберегающих схем, поэтому при разработке ресурсо- и энергосберегающих технологий для процессов нефтепереработки и нефтехимии именно эти контактные устройства обеспечат наилучшие производственные показатели.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Богатых, К.Ф. Динамическая модель работы атмосферного блока установок АТ и АВТ / К.Ф. Богатых, А.Б. Боков, В.В. Пилюгин, В.Ф. Попков // Теория и практика массообменных процессов химической технологии (Марушкинские чтения): Материалы II Междунар. научн. конф. – Изд.-во УГНТУ. – 2001. – С.44-52. – ISBN 5-7831-0418-3. – EDN TOUIBI.

2. Богатых, К.Ф. Реконструкция колонного оборудования в процессах ректификации за 1992-2002 годы с заменой тарелок на перекрёстноточную регулярную насадку // Сборник научных трудов «Прикладная синергетика и проблемы безопасности», -Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат». – 2003. – ISBN 5-85051-304-3. – EDN ULHTLV.

3. Авторское свидетельство № 1171076 А1 СССР, МПК В01J 19/30. Способ изготовления пакета регулярной насадки : № 3603331 : заявл. 10.06.1983 : опубл. 07.08.1985 / К. Ф. Богатых, В. Л. Долматов, Б. К. Марушкин [и др.] ; заявитель Уфимский Нефтяной Институт. – EDN LPDJVJ.

4. 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.

5. Александров, И.А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке. – М.: Химия, 1981. – 352 с. URL: <https://makston-engineering.ru/library-no6-17> (дата обращения 08.04.2024)

УДК 621.565

Крупина Кристина Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Krupina Kristina Alexandrovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

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

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ**

## **INCREASING THE OPERATION EFFICIENCY OF TREATMENT FACILITIES AT AN OIL REFINERY**

Аннотация. В данной статье рассматриваются способы повышения эффективности работы очистных сооружений на нефтеперерабатывающем заводе.

Abstract. This article discusses ways to improve the efficiency of treatment facilities at an oil refinery.

Ключевые слова: очистка сточных вод, биохимический метод, нанокompозитные материалы, аэротенк, воздуходувка, биореактор.

Key words: wastewater treatment, biochemical method, nanocomposite materials, aeration tank, blower, bioreactor.

## Введение

Процесс добычи и переработки нефти неотъемлемо связан с образованием больших объемов сточных вод, которые высокотоксичны даже при низких концентрациях.

Очистные сооружения - это комплекс специализированного оборудования для очистки сточных вод, чтобы они соответствовали установленным стандартам.

Вся вода после очистки либо стягивается в водоемы, либо направляется в канализацию для дальнейшей обработки. Очищенная вода также используется для закрытия технических потребностей предприятия.

В данной статье производился анализ способов повышения эффективности работы очистных сооружений на нефтеперерабатывающем заводе, с целью выявления наиболее экономически эффективного варианта.

## Актуальность

На данный момент усиливается контроль за выполнением требований экологического контроля, стандартам, поэтому необходимо оптимизировать очистку сточных вод, загрязненных нефтеперерабатывающим заводом, путем модификации хорошо зарекомендовавшего себя процесса [1-4].

## Основная часть

На большинстве нефтеперерабатывающих заводах общая схема включает три стадии очистки:

- 1) механическая — очистка от грубодисперсных примесей;
- 2) физико-химическая — удаление коллоидных частиц;
- 3) биологическая — очистка от растворенных примесей.

Кроме того, после биологической очистке сточные воды подвергаются дополнительной очистке.

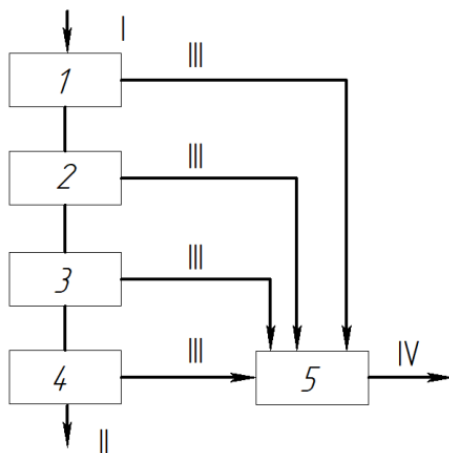


Рисунок 1 - Общая схема очистки сточных вод

На рисунке 1 цифрами обозначено: 1 - установка механической очистки, 2 - установка биохимической или физико-химической очистки, 3 - установка доочистки, 4 - установка по обеззараживанию сточных вод, 5 - сооружения по обработке осадка. I - неочищенные сточные воды, II - очищенные сточные воды, III - осадок или избыточная биомасса, IV - обработанный осадок.

Главные цели оптимизации процесса очистки сточных вод - снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, экономия энергии.

Самым активно развивающимся и передовым методом очистки является биохимический метод. Относится к вторичной очистке сточных вод.

Эксплуатация микроорганизмов для очистки сточных вод от примесей, именно это лежит в основе биохимического метода очистки. В результате своей биологической активности микроорганизмы используют органику в качестве питательной среды.

Биологический фильтр (аэротенк) – это основное фильтрующее сооружение биохимического метода. Суть метода заключается в прохождении сточных вод через фильтрационный слой, представляющий собой загрузочный материал с оболочкой из колониеобразующих бактерий – это и есть активный ил. Загрузочный материал может быть выполнен из щебня, гравия.

Модификация данного метода заключается в использовании нанокompозитных материалов. Например, нанокompозитных частиц магнетита-кремнезема, которые представляют собой сферические частицы с разбросом размеров, обладающие магнитными свойствами магнетита. Частицы магнетита покрыты кремнеземом. Высокая способность к поглощению, позволяет наноматериалам улучшать очистку сточных вод до уровней, недостижимых с помощью традиционных технологий. Более того, интеграция с наноматериалами приводит к снижению энергопотребления и экономии затрат.

Согласно данным исследования, системы очистки сточных вод с модифицированным активным илом показали лучшие результаты по сравнению с не модифицированными системами. Сочетание активного ила и магнетит-кремнезема позволило: получить относительно более качественные стоки сточных вод, сократить время обработки и количество осадка. Наконец, предлагаемая система представляет собой очень перспективную, возобновляемую и дешевую биотехнологию.

Второй способ модификации метода заключается в усовершенствовании системы аэрации, что приведёт к значительной экономии энергии.

Аэрационная система подачи воздуха расположена на всей протяжённости дна резервуара-аэротенка, в такую систему аэраторами подаётся воздух, и вода перемешивается с активным илом.

Направление - совершенствование системы аэрации с изменением подачи сточной воды. Изменяя скорость и направление движения потока сточной воды, можно увеличить время взаимодействия сточных вод с активным илом и равномерность распределения его в резервуаре без изменения резервуара с низкими затратами на модернизацию.

Во-первых, аэрационные резервуары могут быть улучшены за счет использования насадок на подающих трубопроводах, которые создают однородное распределение сточной жидкости в резервуарном пространстве. Насадки обеспечат улучшение очистки сточных вод в условиях изменяющегося технологического режима, увеличивая поверхность контакта между кислородом, микроорганизмами и загрязнителями.

Во-вторых, значительного снижения эксплуатационных расходов на аэрацию можно за счет регулировки подачи аэрирующего воздуха и использования регулируемых воздушных агрегатов. В качестве воздухонагнетателя рекомендуется использовать турбокомпрессор (турбовоздуходувка), поскольку их номинальная производительность превышает КПД многоступенчатых центробежных компрессоров, а также роторных нагнетателей. Частотно-регулируемый привод позволяет регулировать расход воздуха и давление потока.

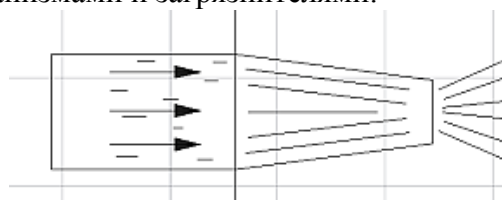


Рисунок 2 - Схема работы насадок

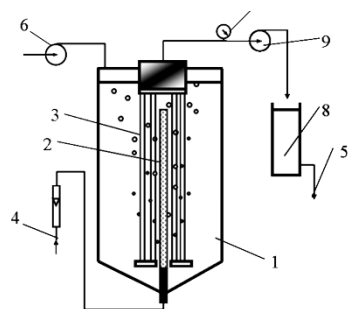
Следующий способ повысить эффективность биохимического метода очистки сточных вод сводится к замене вторичных отстойников и фильтров доочистки на блок ультрафильтрационных мембранных модулей.

Активный ил проходит через слой мембраны, затем очищенная вода покидает этот слой с помощью вакуумного насоса, а концентрат возвращается в биореактор. В системах с мембранными биореакторами ликвидирована потеря микроорганизмов. Пермеат после ультрафильтрационных мембран не содержит взвешенных частиц, а также бактерий и вирусов.

Достоинства мембранного биореактора:

- Высокая степень очистки.
- Компактность сооружений;

- Образуется меньшее количество избыточного ила.



На рисунке 3 цифрами обозначено:

- 1 – реактор; 2 – аэратор;  
 3 – полуволоконные мембраны;  
 4 – воздух; 5 – очищенная вода;  
 6,9 – насосы; 7 – манометр;  
 8 – фильтрат.

Рисунок 3 – Схема мембранного биореактора

Самый результативный способ повысить эффективность работы очистных сооружений на нефтеперерабатывающем заводе, - это оптимизировать биохимический метод очистки. В статье рассмотрено три варианта нововведений в технологию данного метода.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бабичева, А. С. Совершенствование системы очистки сточных вод на предприятии нефтехимического комплекса / А. С. Бабичева, Е. О. Реховская, И. Ю. Нагибина // Актуальные вопросы энергетики. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 95-99. – DOI 10.25206/2686-6935-2020-2-1-95-99. – EDN HGWDXY.

2. Забермави М.Н., Бестапи Э.Э. Эффективная очистка сточных вод, загрязнённых маслами, с использованием активного ила, модифицированного наноккомпозитом магнетит/кремний // Устойчивое управление отходами и циркулярная экономика. – 2023. – № 31. – с. 17634 – 17650.

3. Зайцева, И. С. Методы интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках / И. С. Зайцева, Н. А. Зайцева, А. С. Воронина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 2(78). – С. 90-91. – EDN LPBLLF.

4. Игнатенко, А. В. Регенерация активного ила и методы ее контроля / А. В. Игнатенко // Химическая безопасность. – 2023. – Т. 7, № 1. – С. 59-80. – DOI 10.25514/CHS.2023.1.24005. – EDN MKAYMO.

УДК 621.9.05

Куклина Анастасия Михайловна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuklina Anastasia Mikhailovna, student of Komsomolsk-na-Amure State University

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

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

#### **АВТОМАТИЗАЦИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКОВ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОГРАММЕ 1С «МЕТРОЛОГИЯ»**

#### **AUTOMATION OF SCHEDULING OF VERIFICATION OF MEASURING INSTRUMENTS IN PROGRAM 1С «METROLOGY»**

Аннотация. Обеспечением деятельности организации по обеспечению единства измерений в рамках требований Федерального закона является установление графика поверки средств измерений, принадлежащих организации. В своей работе я исследовала автоматизацию программ испытаний средств измерений в программе 1С «Метрология». Abstract. Ensuring the organization's activities to ensure the uniformity of measurements within the framework of the requirements of the Federal Law is the establishment of a schedule for verification of measuring instruments belonging to the organization. In my work, I studied the automation of testing programs for measuring instruments in the 1С Metrology program.

Ключевые слова: поверка, средства измерений, метрологические характеристики, график поверки, автоматизация, федеральный закон, обеспечение единства измерений.  
Key words: metrological characteristics, verification, measuring instruments, verification schedule, automation, the federal law, ensuring uniformity of measurements.

## Введение

Поверка средств измерений – комплекс мероприятий, выполняемых органами государственной метрологической службы (или иными уполномоченными органами) по обеспечению соответствия средств измерений установленным метрологическим характеристикам.

Цель работы – автоматизация проектирования программ поверки программ измерений в метрологической программе 1С.

## Основная часть

Для каждой работы, которую необходимо провести оформляется задание на соответствующий вид работ.

Для выполнения поверки заполняется «Задание на поверку» согласно рисунка 1.

Рисунок 1 – Форма «Задания на поверку»

Должно быть обеспечено правильное заполнение номенклатуры средства измерений один раз, что позволит автоматически выполнять все будущие задачи по поверке. Таким образом номенклатура – это и есть «расширенное описание типа» средства измерений[5].

На рисунке 2 в закладке «основное» «желтая» часть задания на поверку сведены данные, которые заполняются исполнителем.

Рисунок 2 – Форма «желтой» части задания

В предоставленной закладке заполняются все характеристики и они обязательные.

- «Вид работ» – при начале работы по заданию уже указан.

- «Вид документа» – при начале работы автоматом задано «Свидетельство о поверке». Если итог поверки отрицательный, то задание нужно переключить в режим



«Извещение о непригодности».

- «Тип поверки» – показывает исполнитель: первичная, периодическая, внеочередная и т.д.

- «Номер свидетельства» - при исходном статусе « В работе» обозначено «б/н». Для присвоения номера необходимо будет надавить вкладку с зеленой стрелочкой справа от «Номера свидетельства». Для вида работ «Поверка», после наполнения регистрационных данных в Федеральную государственную информационную систему «Аршин» в пакете информации о поверках, эти сведения возникают в задании на поверку рисунок 3:

← → ☆ Задание на поверку 00000000317 от 11.06.2021 15:47:06

Основное Присоединенные файлы Сведения о работах по заявке Связанные документы Уведомления

Провести и закрыть Записать Провести Протокол поверки Печать Движения документа На основании

Основное Обратная сторона печатной формы Дополнительно Протокол

Номер свидетельства (извещения) в Аршин: С-В/11-06-2021/12376534 Номер записи в Аршин: 12376534

Вид работ: Поверка Вид документа: Свидетельство о поверке Тип поверки: Периодическая Номер свидетельства:

Рисунок 3 – Форма присвоения «номера свидетельства»

Еще один обязательный параметр «Вид СИ» на рисунке 4 надо указать, как поверяется данное СИ.

Средство измерений: Гониометр Год выпуска: 1963 Вид СИ: Средство измерений Группа СИ:

Выборочная поверка партии  Комплект СИ  Поверка перечня одностипных СИ

Заводской номер (номера): 7709009 Инв.№: Средство измерений как эталон

Рисунок 4 – Вкладка «Вид СИ»

Например, выбрано, что средство измерений поверяется в качестве эталона, то появляются дополнительные реквизиты, обязательные к заполнению рисунок 5.

Средство измерений: Вискозиметр Штап Год выпуска: 2018 Вид СИ: Средство измерений как эталон Группа СИ:

Разряды: None выбраны СИ пригодно к применению в качестве:

Рисунок 5 – Дополнительные вкладки

- «Разряды» – нужно указать разряд, по которым будет применяться поверяемое средство измерений в качестве эталона. При нажатии вкладки «Открыть» возникает окно, в котором нужно указать разряды рисунок 6.

Для каждого выбранного разряда обязательен к заполнению один из столбцов:

- «Номер в реестре» - если средство измерений уже включено в новый реестр ФГИС «Аршин»;

-«Поверочная схема»;

- «Методика поверки», по которой производится поверка средств измерений.

Сохранить и закрыть Отмена

Добавить Еще

Код раз...	Номер в реестре	Поверочная схема	Методика поверки
2Р			"Методика поверки спект...
2Р		Локальная поверочная сх...	
3Р	10547.86.3Р.04314		

Рисунок 6 - Форма выбора разрядов

На рисунке 7 в закладке «основное» «зеленая» часть задания сведены данные, которые загружаются автоматически из номенклатуры. Их необходимо проверить и, при

необходимости, внести изменения в номенклатуру и обновить данные в задании. После обновления информации из номенклатуры проверяем корректность заполнения задания и далее заполняем остальные реквизиты.

N	Вид СИ	Средство измерений	Номер	Срок годности	Текст на печать
1	Средство измерений как эт...	Гири образцовые IV разряда...	18090		
2	Средство измерений	Источник питания постоянно...	GEO170252		

Код разряда	Номер в реестре	Прослеживаемость
2P		гэт13-2001
СИ		гэт13-2001
СИ		гэт4-91

Рисунок 7 – Форма 2 «зеленой» части задания

### Заключение

В работе показано, что в программе 1С графики поверки средств измерений составляются автоматически. И это подтверждает, выполнение Федерального закона «Об обеспечении единства измерений»[1].

В автоматизированной программе и описывается порядок действий по оформлению графиков поверки средств измерений и обеспечивает правильное выполнение одного из видов работ по метрологическому обеспечению – поверка средств измерений.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный Закон Российской Федерации от 26 июня 2008 г. № 102 – ФЗ «Об обеспечении единства измерений»// Российская газета. – 2008. – 2 июля. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902107146> (дата обращения 01.04.2024)

2. Медовикова, Н. Я. Метрологическая экспертиза технической документации на предприятии / Н. Я. Медовикова, О. Г. Глушкова // Компетентность. – 2006. – № 3(32). – С. 43-47. – EDN KUCFCP.

3. Правиков, Ю. М. Метрологическое обеспечение производства : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств", "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств", "Автоматизированные технологии и производства" / Ю. М. Правиков, Г. Р. Муслина ; Ю. М. Правиков, Г. Р. Муслина. – Москва : КноРус, 2009. – ISBN 978-5-390-00205-6. – EDN QMFZSD.

4. ПР 50.2.006-94. ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9006079> (дата обращения 01.04.2024)

5. Приказ Минпромторга России от 31.07.2020 N 2510 "Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке" (Зарегистрировано в Минюсте России 20.11.2020 N 61033). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74836887/> (дата обращения 01.04.2024)

УДК 621.791

Ларин Олег Анатольевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Larin Oleg Anatolievich, 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,  
Department of "Technology of welding and metallurgical production named after V.I. Mura-  
vyov", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТА В КАЧЕСТВЕ ПОДДУВА ПРИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

### **THE USE OF NITROGEN AS A BLOWDOWN IN ARGON ARC WELDING OF STAINLESS STEEL**

Аннотация. В настоящей работе исследовано воздействие азота как защитного газа корня шва при однопроходной сварке тонкостенных труб из нержавеющей стали 12X18H10T без присадочной проволоки. Выявлено, что при сварке аустенитной стали 12X18H10T может использоваться поддув азотом, который обеспечивает хорошую защиту корня шва от окисления, является дополнительным элементом, оказывающим модифицирующее и легирующее действие. Азот размельчает структуру металла шва, повышает пластичность и увеличивает прочность. Насыщение металла шва происходит в объеме достаточном для образования с титаном нитридов (TiN) упрочняющих сталь, не снижая коррозионной стойкости.

Abstract. In this paper, the effect of nitrogen as a protective gas of the seam root during sin-gle-pass welding of thin-walled pipes made of non-rusting steel 12X18H10T without filler wire is investigated. It was revealed that when welding austenitic steel 12X18H10T, nitrogen blowing can be used, which provides good protection of the seam root from oxidation, is an additional element that has a modifying and alloying effect. Nitrogen grinds the structure of the seam metal, increases plasticity and increases strength. The saturation of the seam metal occurs in a volume sufficient to form nitrides (TiN) with titanium that strengthen steel without reducing corrosion resistance.

Ключевые слова: аргонодуговая сварка, микроструктура, азот, защита корня шва, роботизация.

Key words: argon arc welding, microstructure, nitrogen, seam root protection, robotization.

#### **Введение**

В качестве защитных газов при сварке используют инертные (аргон, гелий) и активные (углекислый газ, азот), а также различные смеси инертных или активных газов и инертных с активными [1]. В обычных и низколегированных сталях азот является вредной примесью, снижает их прочностные характеристики, способствует возникновению пор в металле шва и преждевременному старению.

Однако для аустенитных сталей азот является дополнительным легирующим элементом. Увеличение содержания азота в сварных швах, выполненных дуговой сваркой, способствует получению более мелкой структуры и повышению прочности сварного шва стали X18H9T, не снижая пластичности и коррозионной стойкости [2, 3].

По стоимости технический азот, используемый при поддуве дешевле аргона [4] и при внедрении технологии поддува азотом может наблюдаться накопительный экономический эффект, а также повышение прочности и долговечности сварных соединений.

В работе рассмотрен вопрос возможности поддува азотом для защиты корня шва и обеспечения формирования обратного валика при роботизированной аргонодуговой сварке неплавящимся вольфрамовым электродом импульсной дугой, трубопровода из тонкостенной высоколегированной аустенитной нержавеющей стали 12X18H10T.

### Основная часть

Образец 3.1 сваренный с поддувом азота для защиты корня шва обладает однородной мелкозернистой центральной структурой металла шва. Проплавление полное. В металле шва слева и справа от линий сплавления по направлению в центр наблюдается ровная мелкозернистая дендритная структура (рисунок 1, а). Концентрация азота идёт пикообразно по металлу шва с распределением его в области крупного зерна зоны термического влияния (рисунок 1, б).



Рисунок 1 – Металл шва и дендритная структура образца 3.1 (а), линейное распределение азота в металле шва и в зоне термического влияния (б)

В образце 2.1 выполненном с поддувом аргона для защиты корня шва наблюдается полное проплавление. Образец обладает однородной мелкозернистой центральной структурой металла шва. В металле шва слева и справа от линий сплавления по направлению в центр наблюдается ровная дендритная структура с вытянутыми крупными дендритами по краям (рисунок 2, а). Не смотря на защиту сварочной ванны и корня шва аргоном в металле шва и зоне термического влияния находится азот (возможно не полностью вытесненный воздух из заполняемого объёма трубы), концентрация азота идёт пикообразно по металлу шва с распределением его в области крупного зерна зоны термического влияния (рисунок 2, б).



Рисунок 2 – Металл шва и дендритная структура образца 2.1 (а), линейное распределение азота в металле шва и в зоне термического влияния (б)

В образце 1.1 сваренном без защиты корня шва сверху (где происходит сварка в среде аргона) до середины шва структура металла мелкозернистая. Проплавление полное. Ввиду отсутствия защитного газа для стабилизации давления и регулирования формы шва наблюдается вогнутость усиления. Со стороны провала заметно вытянутая дендритная структура. Также наблюдается сильный перегрев металла с внутренней стороны, что выражено «змеиными чешуйками» (рисунок 3, а). Без защиты идёт сильное окисление корня шва, что препятствует корректному перемешиванию металла шва и его однородности. В металле шва находится азот поглощённый жидким металлом из окружающей среды, концентрация азота идёт пикообразно по металлу шва с распределением его в области крупного зерна зоны термического влияния (рисунок 3, б).



Рисунок 3 - Металл шва и дендритная структура образца 1.1(а), линейное распределение азота в металле шва и в зоне термического влияния (б)

Размерные параметры всех проанализированных сварных соединений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размерные параметры образцов сварных соединений (в миллиметрах)

№ образца	Ширина шва	Ширина дендритной структуры	Ширина области крупного зерна	Ширина области среднего зерна
3.1	5,7	0,8	0,7	0,6
2.1	4,7	0,6	0,6	0,7
1.1	4,8	1,2	0,8	0,7

### **Заключение**

Процесс растворения газов в жидком металле может быть разбит на три стадии: поглощение атомов газов поверхностью металла; взаимодействие этих газов с металлом поверхностных слоев; диффузия образовавшихся продуктов в глубину жидкой ванны. В сварочной ванне в зоне высоких температур происходит распад молекул газа на атомы (диссоциация). Молекулярный азот распадается и переходит в атомарное состояние:  $N_2 \rightarrow 2N$ . Активность газов в атомарном состоянии резко повышается. Азот растворяется в элементах, с которыми образует соединения, называемые нитридами [5].

В образце 1.1 в виду отсутствия защиты корня шва произошло окисление и сильный перегрев металла, азот, попавший в зону сварки, главным образом из воздуха хорошо растворяется в аустенитной стали, не оказывает значительных легирующих свойств на металл шва. В образце 2.1 при защите корня шва аргоном, наличие азота в металле шва может быть в результате неполного заполнения камеры поддува защитным газом. В образце 3.1 при защите корня шва азотом, насыщение металла шва азотом идёт равномерно, с распределением его в зону крупного зерна в сторону основного металла. Наличие азота отразилось на мелкозернистости металла шва, сохранении прочности и пластичности.

### **Благодарности**

Научно-исследовательские работы выполнены за счёт средств ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (НИР № ВН001/2023 «Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочного/наплавочного валика (в том числе и в применении аддитивных технологий) на установке автоматической сварки в защитных газах»).

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Михайлицын, С. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебник / С. В. Михайлицын, И. Н. Зверева, М. А. Шекшеев. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. - 192 с. - ISBN 978-5-9729-0481-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1168549> (дата обращения: 28.03.2024).
2. Котвицкий, А. Д. Сварка в среде защитных газов : учеб. пособие для курсов инструкторов по внедрению в народное хозяйство передовые методов сварки / А. Д. Котвицкий. – Москва:«Высш. школа», 1974. – 222 с.
3. Каховский, Н. И. Сварка нержавеющей сталей / Н. И. Каховский. – Киев : Изд-во «Техніка», 1968. – 312с.
4. Цена на технические газы в баллонах [Электронный ресурс] : Комсомольск-на-Амуре, 2024 –. URL: <https://kislodod-servis.ru/habarovsk/komsomolsk-na-amure/cenatehgazov> (дата обращения 04.02.2024);
5. Квагинидзе, В. С. Технология металлов и сварка / В. С. Квагинидзе. – Москва : Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 566 с.

УДК 621.791

Любимский Роман Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lubimskiy Roman Viktorovich, 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, Department of "Technology of welding and metallurgical production named after V.I. Muravyov", Komsomolsk-na-Amure State University

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ И СВАРКИ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ГИДРОКРЕКИНГОВОЙ УСТАНОВКИ**

### **IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ASSEMBLY AND WELDING OF THE HEAT RECOVERY BOILER OF THE HYDROCRACKING PLANT**

Аннотация. В настоящей работе рассматривается решение проблемы при изготовлении котла-утилизатора гидрокрекинговой установки. Установлено, что на процесс образования пор и трещин в процессе изготовления конструкции влияет термостойкий герметик. Для решения указанной проблемы предлагается изменить в конструкции сварное соединение С2 на С17, согласно ГОСТ 5264-80, а также перед сваркой производить выборку термостойкого герметика углошлифовальной машиной и применять при сборке фиксирующую оснастку.

Abstract. In this paper, we consider a solution to the problem in the manufacture of a heat recovery boiler of a hydrocracking plant. It has been established that the process of formation of pores and cracks in the process of manufacturing the structure is influenced by a heat-resistant sealant. To solve this problem, it is proposed to change the welded joint C2 to C17 in the design, according to GOST 5264-80, and also to sample heat-resistant sealant with an angle grinder before welding and use fixing equipment during assembly.

Ключевые слова: ручная дуговая сварка, котел-утилизатор, поры, трещины, технологический процесс

Key words: manual arc welding, heat recovery boiler, pores, cracks, technological process

#### **Введение**

Паровые котлы-утилизаторы предназначены для повышения КПД цикла газотурбинной энергоустановки путем утилизации выхлопных газов с получением перегретого пара с возможностью дальнейшего его использования для выработки электроэнергии либо для технологических нужд, а также для улучшения экологических параметров энергоустановки за счет снижения температуры выхлопных газов и уровня шума [1-3].

Котёл-утилизатор состоит из четырёх модулей, модули обозначены цветами (рисунок 1), а именно: нижний парогенератор (среда вода/пар), пароперегреватель (среда пар), верхний парогенератор (среда вода/пар), котловая питательная вода (среда КПВ СД).

При сборке модули ставятся друг на друга и скрепляются болтовым соединением.

Чтобы предотвратить утечку воздуха или проникновение дождевой воды при соединении болтами таких частей корпуса, как панели, модули или части каналов, необходимо: выполнить плотный шов изнутри (если возможно) или снаружи, если выполнение шва изнутри невозможно. Дополнительно, между сегментами необходимо нанести пластичный герметик с теплостойкостью не менее 200°C.

Все сварные соединения выполняются ручной дуговой сваркой, с применением электродов СНЕ58-1 и должны соответствовать ГОСТ 5264-80 [4, 5].

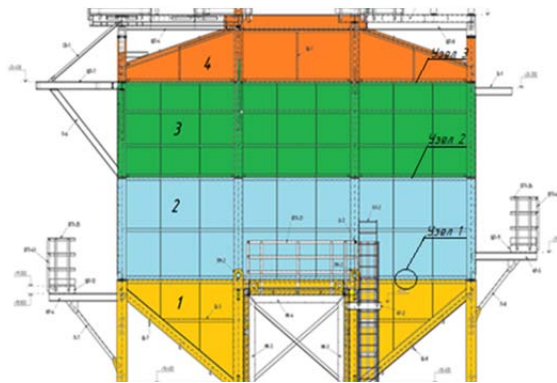


Рисунок 1 – Рассматриваемый сегмент котла-утилизатора

**Основная часть**

В процессе выполнения сварных соединений термостойкий герметик препятствует получению качественного соединения, из-за чего образуются поры и трещины.

Эти дефекты были выявлены путём визуально-измерительного контроля. Решение данной проблемы было согласовано с группой инженеров по сварке и были предложены следующие способы для их устранения:

- использовать согласно ГОСТ 5264-80 тип соединения не С2, который был применен на этапе сборки, а С17;
- для того, чтобы предотвратить такой дефект как поры, необходимо предварительно очистить разделку кромок с помощью углошлифовальной машины от лишних слоев герметика и от их излишков, появившихся в результате затяжки болтовых соединений;
- для устранения деформаций и образования дефектов в виде трещин применять фиксирующую оснастку (рисунок 2).

Предлагаемые решения представлены на рисунке 3.



Рисунок 2 – Оснастка для фиксации подборок конструкции

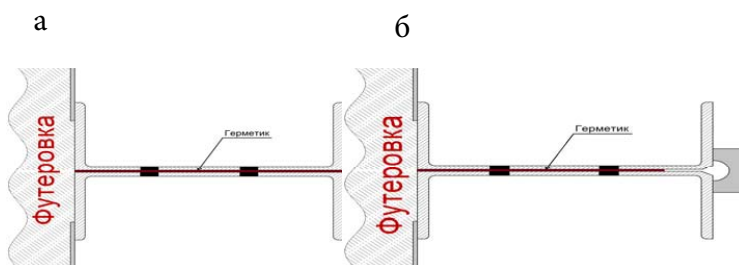


Рисунок 3 – Конструкция в сборе:  
а – применяемая технология сборки;  
б – предлагаемая технология сборки



Рисунок 4 – Полученное сварное соединение

Полученное сварное соединение после совершенствования технологии сборки представлено на рисунке 4. Визуально-измерительным контролем дефектов в виде пор и трещин выявлено не было.

## **Заключение**

Представленное технологическое решение позволило исключить образование дефектов в виде пор и трещин, что обеспечило повышение качества выполняемого изделия и снизило трудоемкость изготовления конструкции (уменьшение времени по доработке дефектных участков сварных соединений).

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Алехнович, А. Н. Реконструкция и новые котлы отечественных ТЭС : монография / А. Н. Алехнович. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 320 с. - ISBN 978-5-9729-1082-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1902471> (дата обращения: 22.03.2024).
2. ГОСТ 22530-77. Котлы паровые стационарные утилизаторы и энерготехнологические. Типы и основные параметры. – Введ. 1987-09-21. с изменениями № 2, 4, утверждёнными в июне 1983 г., сентябре 1987 г. – Издательство: Стандартов, Москва, 1988 г. – 10 с.
3. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 2. Энергетическое использование теплоты : учебник для вузов / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов ; под редакцией В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. - 199 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-01850-9. - Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. - URL: <https://urait.ru/bcode/537511> (дата обращения: 22.03.2024).
4. ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. – Взамен ГОСТ 5264-69; введ. с изменениями № 1, утверждёнными в январе 1989 г. – Издательство: Стандартинформ, Москва, 2010 г. – 31 с.
5. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением: Учебник для студентов вузов. – Москва : Машиностроение, 1977 – 432 с.

УДК 621.113

Люй Лань, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Хэйлунцзянский университет науки и технологий, Харбин, Китай  
Lyu Lan, Graduate Student, Komsomolsk-na-Amure State University, Heilongjiang University of Science and Technology (PRC)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВА 7075 ДО И ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ НА НЕГО МДО ПОКРЫТИЯ**

### **STUDY OF FATIGUE CHARACTERISTICS OF ALLOY 7075 BEFORE AND AFTER APPLICATION OF MDO COATING ON IT**

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния оксидных покрытий, сформированных методом микродугового оксидирования (МДО), на особенности усталостного разрушения алюминиевого сплава 7075. Показано влияние длины магистральной усталостной трещины на частоту резонансных колебаний при изгибном консольном нагружении образцов. Установлено, что достоверность линейной аппроксимации снижается при нанесении на поверхность алюминиевого сплава МДО покрытия, что связано с изменением поверхностной жесткости материала.

Abstract. The work is devoted to the study of the influence of oxide coatings formed by microarc oxidation (MAO) on the characteristics of fatigue fracture of aluminum alloy 7075. The influence of the length of the main fatigue crack on the frequency of resonant oscillations during flexural cantilever loading of samples is shown. It has been established that the reliability of linear approximation decreases when MAO coating is applied to the surface of an aluminum alloy, which is associated with a change in the surface rigidity of the material.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, МДО, алюминиевый сплав 7075, усталость, изгиб, трещина, частота колебаний

Key words: microarc oxidation, MAO, aluminum alloy 7075, fatigue, bending, crack, vibration frequency



## Введение

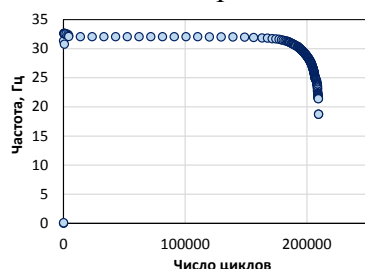
Алюминиевые сплавы широко применяются в различных областях промышленности, где важными характеристиками материала являются прочность, жесткость и усталостная долговечность [1]. Одним из способов повышения эксплуатационных характеристик алюминиевых сплавов является нанесение упрочняющих покрытий, в частности методом микродугового оксидирования (МДО). Определение усталостных характеристик материалов с модифицированным поверхностным слоем является актуальной задачей при использовании новой технологии оксидирования материалов [2]. В работе [3] приведена методика определения исходной трещины по величине изменения резонансной частоты высокочастотного пульсатора, показана высокая достоверность полученных экспериментальных данных по выращиванию предварительной трещины. Целью настоящей работы являлось установление влияния наличия МДО покрытий на изменение частоты резонансных колебаний образцов алюминиевого сплава 7075.

## Материалы и методы проведения исследований

Для достижения цели исследования из листов алюминиевого сплава 7075 были изготовлены плоские образцы по форме двойной лопатки для испытаний на усталость циклическим изгибом [4, 5]. Сплав 7075 является близким российским аналогом высокопрочного алюминиевого сплава В95. МДО образцов выполнялось в центре коллективного пользования «Новые материалы и технологии» КнАГУ на установке МДО-50, изготовленной в ДВФУ. Образцы подвергались оксидированию при плотности тока  $15,66 \text{ А/дм}^2$  в электролите на основе водного раствора гексаметофосфата натрия  $(\text{NaPO}_3)_6$  с добавлением  $\text{NaOH}$  в течение 30, 60 и 90 минут [6]. После МДО выполнялись испытания образцов консольным изгибом при напряжениях 190-220 МПа на резонансной установке с электромагнитным бесконтактным нагружением. Испытания останавливались при снижении частоты резонансных колебаний на 4-15 Гц от исходной. Часть образцов испытывалась без МДО обработки.

## Результаты исследований

Характер усталостного разрушения образцов сплава 7075 протекает по классическому сценарию формирования усталостных повреждений большинства алюминиевых сплавов. Усталостные испытания выполнялись на лабораторной установке, позволяющей регистрировать резонансную частоту колебаний образца, которая в начале испытания составляла 28,87-32,86 Гц и зависит от упругих свойств материала и геометрии образца. По мере накопления усталостных повреждений, приводящих к образованию и росту микротрещин, сливающихся в результате в одну-две магистральные трещины, происходит снижение частоты резонансных колебаний образца (рис. 1). Таким образом, изменение частоты колебаний может являться функцией длины трещины при усталостном разрушении конкретного образца, так же, как и толщина образца является функцией частоты.



частоты колебаний может являться функцией длины трещины при усталостном разрушении конкретного образца, так же, как и толщина образца является функцией частоты.

Рисунок 1 – Зависимость частоты колебаний от числа циклов испытаний при росте магистральной трещины

На диаграммах (рис. 2) показаны экспериментальные зависимости, полученные при испытании образцов с оксидным покрытием, сформированными при МДО, и без него для начального периода испытания (рис. 2, а) и к концу испытания (рис. 2, б). Необходимо отметить, что достоверность линейной аппроксимации  $R^2$  обеих зависимостей, полученных при испытаниях образцов с покрытиями ( $R^2 = 0,03$  для рис. 2(а) и  $R^2 = 0,12$  для рис. 2(б)), существенно ниже, чем без покрытий ( $R^2 = 0,94$  для рис. 2(а) и  $R^2 = 0,38$  для рис. 2(б)). Это объясняется тем, что твердое покрытие оксида алюминия, которое в образцах с периодом оксидирования 90 минут достигало 25 мкм, влияет на жесткость колебательной системы при локальном развитии дефекта в виде трещины, что сказывается на непрогнозируемом изменении частоты колебаний. Это также подтверждается тем, что доля

периода снижения частоты на одинаковое значение от периода до начала роста магистральной трещины ниже у образцов с покрытием. Однако, наличие оксидных покрытий позволило увеличить долговечность образцов. Это было подтверждено при проведении испытаний серии образцов с различным напряжением.

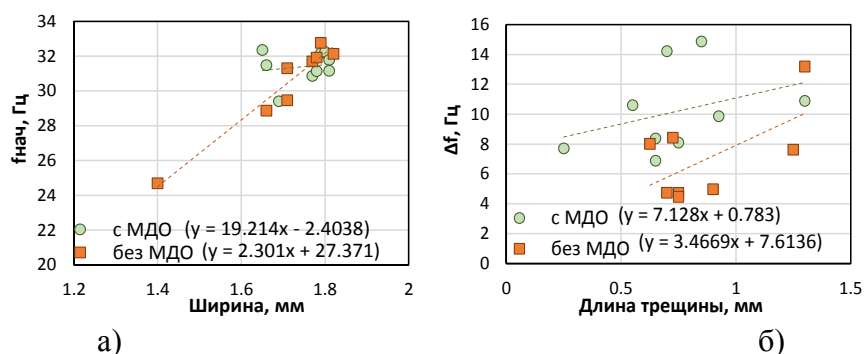


Рисунок 2 – Зависимости частоты колебаний от ширины образца (а) и изменения частоты колебаний от длины трещины (б)

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что снижение частоты резонансных колебаний при усталостных испытаниях образцов может являться функцией длины магистральной трещины. Однако наличие неравномерного твердого оксидного поверхностного слоя влияет на достоверность аппроксимации указанной зависимости, что связано с неравномерным влиянием оксидного покрытия, сформированного в результате МДО, на жесткость образца и, как следствие, на изменение частоты колебаний образца.

### Благодарности

Работа подготовлена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 24-29-00838).

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гордиенко, П. С. Микродуговое оксидирование металлов и сплавов / П. С. Гордиенко, В. А. Достовалов, А. В. Ефименко. – Владивосток: Издательский дом Дальневосточного федерального университета, 2013. – 521 с. – ISBN 978-5-7444-3073-3. – EDN YRFERR.
2. Исследование свойств МДО-покрытий, сформированных на алюминиевом сплаве системы Al-Mg-Sc / Т. В. Трушкина, А. Е. Михеев, Д. В. Раводина, А. В. Гирн // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2016. – Т. 17, № 3. – С. 804-809. – EDN WVPQQZ.
3. Выращивание исходной трещины при испытании на вязкость разрушения (трещиностойкость) / В. С. Ерасов, О. В. Митраков, С. М. Швец, А. В. Лавров // Авиационные материалы и технологии. – 2014. – № S4. – С. 55-59. – EDN TIJAET.
4. 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.
5. 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.
6. Acoustic emission that occurs during the destruction of coatings applied by microarc oxidation on an aluminum alloy / O. Bashkov, F. Bao, V. A. Kim [et al.] // 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. 2522-2525. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.08.174. – EDN NUWQBT.

УДК 620.193.4

Люхо Илья Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Lyukho Ilya Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Пильщикова Анастасия Станиславовна, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pilshchikova Anastasia Stanislavovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Калугина Анна Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технология новых материалов», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kalugina Anna Alekseevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of "Materials Science and Technology of New Materials", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРРОЗИИ В НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ AISI 316 НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТИНЧАТОГО РАЗБОРНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА**

### **RESEARCH OF THE CAUSES OF CORROSION IN STAINLESS STEEL USING THE EXAMPLE OF A PLATE DISPLACEMENT HEAT EXCHANGER**

Аннотация. В работе изучено явление возникновения точечной и щелевой коррозии на пластинах аппарата теплообменника, выполненных из нержавеющей стали AISI 316. Сплав AISI 316 отличается своей стойкостью к агрессивным средам. Рассмотрено влияние содержания в растворе ионов Cl и CO<sub>2</sub> при повышенных температурах, а также наличия других факторов (кислотность среды, наличие в жидком растворе истирающих частиц), вызвавших повреждения поверхности материала. Комплексной причиной возникновения деградации материала является наличие в растворе абразивных частиц и снижение pH показателя, что в совокупности вызвало локализованные случаи точечной и щелевой коррозии.

Abstract. The work studied the phenomenon of pitting and crevice corrosion on heat exchanger plates made of AISI 316 stainless steel. AISI 316 alloy is distinguished by its resistance to aggressive environments. The influence of the content of Cl ions and CO<sub>2</sub> in the solution at elevated temperatures, as well as the presence of other factors (acidity of the medium, the presence of abrasive particles in the liquid solution) that caused damage to the surface of the material, is considered. The complex reason for the occurrence of material degradation is the presence of abrasive particles in the solution and a decrease in the pH value, which together caused localized cases of pitting and crevice corrosion.

Ключевые слова: коррозия, теплообменник, AISI 316, хлориды, точечная коррозия, щелевая коррозия.

Key words: corrosion, heat exchanger, AISI 316, chlorides, pitting corrosion, crevice corrosion.

#### **Основная часть**

Коррозия металлов является одной из основных проблем, влияющих на долговечность и надежность эксплуатации конструкций и приборов. Большинство современных исследований направлены на нахождение способов борьбы с деградацией поверхности металлических изделий [1]. В качестве основных методов защиты материала выделяют ингибирование коррозии и анодирование.

Исследование проводилось на теплообменном аппарате разборного типа НН№47, пластины которого изготовлены из нержавеющей стали AISI 316. На пластинах теплообменного аппарата были обнаружены следы коррозии (Рисунок 1). На поверхности ряда пластин были обнаружены следы точечной коррозии (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Пластина теплообменника со следами коррозии



Рисунок 2 – Точечная коррозия на пластинах теплообменника

Сплав AISI 316 характеризуется хорошей коррозионной стойкостью, но это не исключает случаи возникновения локальной коррозии. В данной работе [2] рассматривается влияние температуры рабочей жидкости и  $\text{CO}_2$  на образование локальных участков повреждения внешнего слоя. Наличие в растворе ионов  $\text{Cl}$  и  $\text{CO}_2$  оказывают значительное влияние на механизм точечной коррозии. Попадание углекислого газа из окружающей среды в рабочую среду теплообменника способно вызывать уменьшение её pH. Помимо этого карбонаты металлов Fe, Cr, Ni, Mn, Mo, являются нерастворимыми солями, твердость которых превышает твердость стали AISI 316, в результате агрегации ионов образуются микрокристаллы солей, способные повредить внутреннюю поверхность металла.

Результаты анализа показателей качества воды выявили повышенную концентрацию хлорид ионов –  $22 \text{ мг/дм}^3$  (при норме менее  $20 \text{ мг/дм}^3$ ) и ионов железа –  $0,2 - 0,21 \text{ мг/дм}^3$  (при норме менее  $0,20 \text{ мг/дм}^3$ ). В присутствии ионов хлорида часто наблюдают фреттинг-коррозию[3].

К причинам возникновения коррозии часто относят механическое повреждение материала, оно может возникать как при сборке теплообменника, так и в процессе работы [4].

Очаги точечной и щелевой коррозии расположены симметрично, на наиболее выступающих частях пластины теплообменника. На ровных и обтекаемых поверхностях пластины очаги встречаются значительно реже, что предположительно может свидетельствовать о первоначальном повреждении поверхности истиранием о них в потоке рабочей среды твердых частиц.

Твердые частицы могут появляться в воде из-за плохой фильтрации, либо, помимо этого, в процессе разрушения материала путем вымывания в раствор попадают частицы материала оборудования [3]. Так как твердость изделия неоднородна и зависит от внутренней конфигурации зерен участка [5,6], то образующиеся частицы могут обладать большей твердостью, в последствие чего будет происходить повреждение ими внутренней поверхности материала установки (в том числе оксидного слоя).

Таким образом, одними из факторов развития коррозии возможно послужили механические дефекты поверхности, вызванные неправильным режимом эксплуатации оборудования и кислотность теплоносителя, что в свою очередь привело к появлению в жидкой фазе твердых включений (карбонаты металлов, частицы материала теплообменника), истирающих материал и способствующих разрастанию дефекта в присутствии агрессивной среды.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Каблов, Е. Н. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии / Е. Н. Каблов, О. В. Старцев, И. М. Медведев // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – № 2(35). – С. 76-87. – EDN TQKESH.

2. Ezuber, H. M. Influence of temperature on the pitting corrosion behavior of AISI 316L in chloride-CO<sub>2</sub> (sat.) solutions. *Materials & Design*. – 2014. – V. 59. P. 339–343. DOI:10.1016/j.matdes.2014.02.045

3. Тлешев, М.Т., Баймбетов В.А. PSL -зонирование и подбор материалов насосно-компрессорных труб для месторождений АО «Озенмунайгаз» // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. – 2021. – Т. 3. – №3. – С. 11-23. doi: 10.54859/kjogi88836 URL : <https://vestnik-ngo.kz/2707-4226/article/view/88836/67022>

4. Гафаров, Н.А., Митрофанов А.В., Гончаров А.А., Третьяк А.Я., Киченко Б.В. Анализ повреждений оборудования и трубопроводов на объектах добычи, переработки и транспорта продукции Оренбургского НГКМ / [Н.А. Гафаров и др.] –М.: ИРЦ Газпром, – 2000.– 65 с. (Серия: Подготовка и переработка газа и газового конденсата : Обзор. информация / Открытое АО «Газпром», Информ.- реклам. центр газовой пром-сти (ООО «ИРЦ Газпром»)).

5. Murakami, K., Sekimura, N., Iwai, T., Abe, H. Heterogeneity of ion irradiation-induced hardening in A533B reactor pressure vessel model alloys. *Journal of Nuclear Science and Technology*. – 2016/ – V. 53(7). P. 1061–1066. <https://doi.org/10.1080/00223131.2015.1089797>

6. Cui, L., Jiang, F., Prng, R.L., Mousavian, R.T., Yang, Z., Moverare, J. Dependence of microstructures on fatigue performance of polycrystals: A comparative study of conventional and additively manufactured 316L stainless steel // *International Journal of Plasticity*. – 2022. - V. 149, 103172. DOI: 10.1016/j.ijplas.2021.103172

УДК 665.656.2

Мазанко Андрей Владиславович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Mazanko Andrey Vladislavovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Комарова Татьяна Викторовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Komarova Tatiana Viktorovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Федулов Егор Александрович, главный технолог, ООО «РН-Комсомольский НПЗ»

Fedulov Egor Aleksandrovich, Chief Technologist, LLC «RN-Komsomolskiy NPZ»

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ИЗОМЕРИЗАЦИИ**

### **IMPROVING THE RELIABILITY OF ISOMERIZATION PROCESS UNITS**

Аннотация. В работе рассматривается техническое решение, направленное на повышение надёжности работы установок изомеризации нефтеперерабатывающих предприятий, эксплуатирующих иностранное компрессорное оборудование, применимое при наличии дополнительного источника водородсодержащего газа требуемой чистоты. Исходные данные приняты на основе анализа работы одного из предприятий на территории Российской Федерации.

Abstract. The work considers a technical solution aimed at ensuring the reliability of the operation of isomerization plants of oil processing enterprises operating foreign compressor equipment, has an additional source of hydrogen-containing gas of the required purity. The initial data were taken on the basis of an analysis of the work of one of the enterprises in the Russian Federation.

Ключевые слова: водородсодержащий газ, установка изомеризации, установка гидроочистки дистиллятов, концентрация, компрессор.

Key words: hydrogen-bearing gas, isomerization unit, distillate hydro-purification unit, concentration, compressor.

## **Введение**

На установках изомеризации бензиновых фракций нефтеперерабатывающих предприятий, с целью обеспечения требуемого давления в реакторном контуре и создания оптимального мольного соотношения водород/углерод, применяют компрессорное оборудование, рабочей средой которого является водородосодержащий газ (ВСГ). По мере продолжительной эксплуатации подходит к концу установленный срок службы применяемого технологического оборудования, в частности срок компрессорного оборудования. Замену изношенных конструктивных элементов оборудования можно было бы произвести с использованием запасных элементов, но ввиду невозможности их закупки, в качестве альтернативного варианта, было выдвинуто техническое решение, позволяющее обеспечить нормальную работу установок изомеризации.

**Цель:** разработать и внедрить новую технологическую схему подачи свежего ВСГ на установки изомеризации, эксплуатируемые в нефтеперерабатывающей отрасли.

**Степень проработанности:** произведён анализ ряда технических решений, рассмотрена возможность замены иностранного эксплуатируемого компрессорного оборудования на их российские аналоги. Приводится экономическое обоснование реализации выбранного технического решения.

## **Основная часть**

**Анализ аналогичного оборудования.** Наиболее очевидным методом при истечении эксплуатационного срока компрессорного оборудования является его замена на новое, схожее по техническим характеристикам. При опросе рынка от российских производителей на рассмотрение было выдвинуто два технико-коммерческих предложения: ООО «ККЗ» и ООО «Ковинт». Стоимость за единицу оборудования составила 40 млн. руб. и 30 млн. руб. соответственно. Следовательно, замена компрессорного оборудования потребует значительных финансовых затрат, поэтому представленное решение нецелесообразно с финансовой точки зрения, но с технологической точки зрения, благоприятно.

На основании вышеизложенного, предлагается изменить подход к решению задачи и рассмотреть вариант проведения реверс-инжиниринга компрессорного оборудования, применяемого на установках изомеризации. Но и этот метод не лишён недостатков, обратный инжиниринг требует определённого времени и по окончании дополнительного времени на изготовление и доставку, а также исключает наличие резерва у работающего оборудования, вследствие чего не может быть применён в кратчайшие сроки.

**Ключевое решение.** Итак, технологическим решением, преобладающим над всеми перечисленными, является «комбинированный вариант» (рис. 1). Представленное решение предполагает возможность приёма ВСГ на установку изомеризации от двух источников, а также проведения процедуры обратного инжиниринга над существующем компрессорным оборудованием. При нормальных условиях работы подпитка свежим ВСГ установки осуществляется по нормальной технологической схеме от установки каталитического риформинга. В случае выхода из строя или проведения ревизии компрессорного оборудования установки изомеризации подпитка свежим водородосодержащим газом осуществляется по новой линии (с нагнетания компрессорного оборудования установки гидроочистки дистиллятов). Учитывая разность технологических параметров между двумя установками, предусматривается монтаж на новой линии следующих устройств: ограничительной диафрагмы, редуцирующего, регулирующего, отсекающего и предохранительного оборудования.

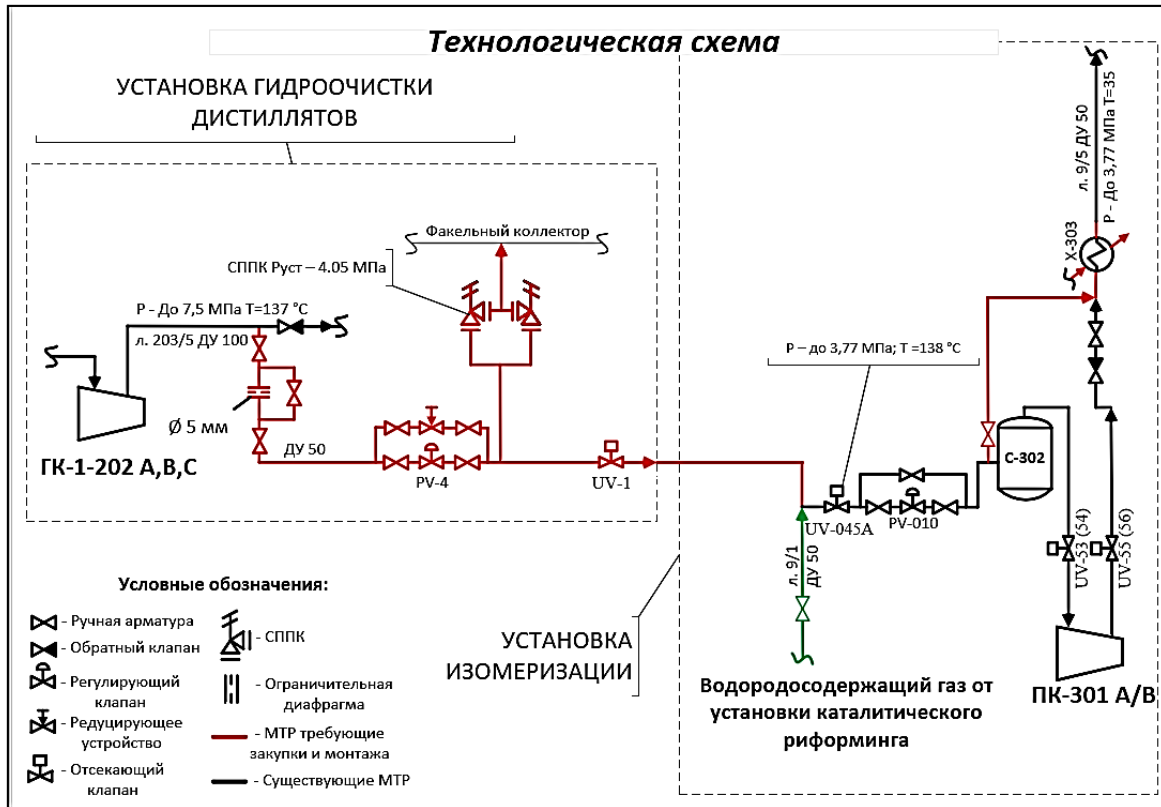


Рисунок 1 – Технологическая схема

**Экономическая эффективность.** Реализация выбранного технического решения повлечёт немалые финансовые затраты, но при этом существенно снижается риск простоя установки изомеризации и тем самым обеспечиваются плановые показатели объёма выпуска товарной корзины бензинов. На рисунке 2 представлены составляющие финансовых затрат на реализацию проекта, сумма которых составляет ~14 миллионов рублей. Так же на диаграмме (рис. 3) представлено сравнение финансовых затрат при реализации проекта и потерь при месячном простое установки изомеризации, согласно которой затраты на реализацию проекта составят в 13 раз меньше, чем потери при внеплановом простое установки изомеризации, что указывает на целесообразность реализации предложенной схемы.

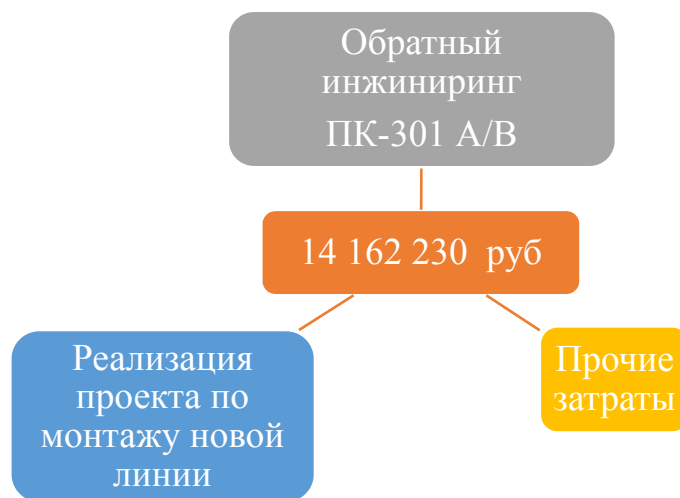


Рисунок 2 – Составляющие финансовых затрат на реализацию проекта

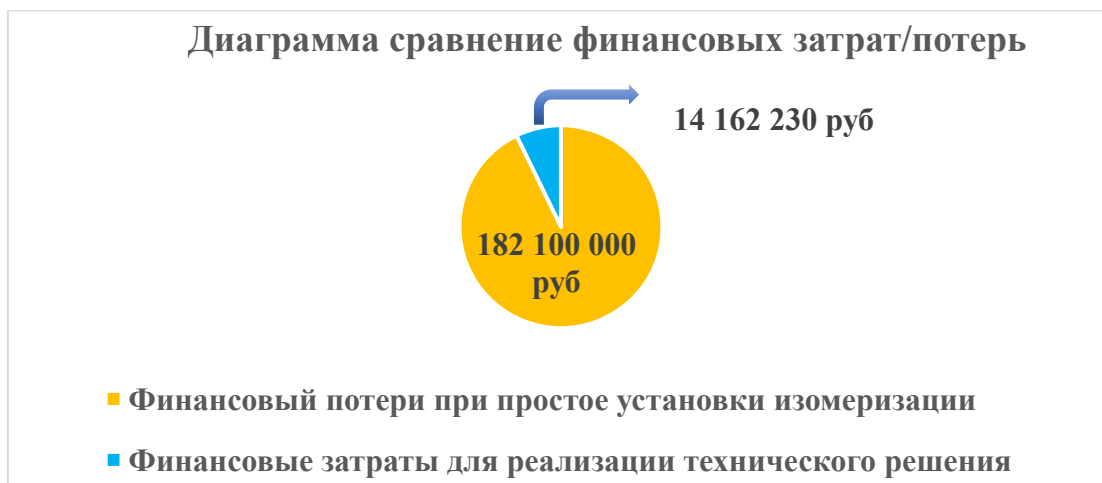


Рисунок 3 – Сравнительная диаграмма

### **Заключение**

В представленной работе были раскрыты различные технические решения, направленные на повышение надёжности работы установок изомеризации и предотвращение их внепланового простоя. Наиболее целесообразным был определен «комбинированный вариант», при внедрении которого будет достигнуто уменьшение риска простоя установки изомеризации в случае выхода из строя компрессорного оборудования, сокращение затрат на импортозамещение существующего оборудования путём проведения реверс-инжиниринга, а также повышение надёжности технологической схемы за счёт её инвариантности.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Чиняев, И. Р. Управление потоками жидкостей и газов : Монография / И. Р. Чиняев, А. Л. Шанаурин, А. В. Фоминых ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганский государственный университет». Том ЧАСТЬ I. – Курган : Курганский государственный университет, 2022. – 248 с. – ISBN 978-5-4217-0635-9. – EDN LFLGDL.
2. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Москва, Машиностроение, 1992. 671 с.
3. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» : Приказ Ростехнадзора от 26.11.2020 N 461. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: по подписке. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=386610> (дата обращения: 06.04.2024).
4. Суханов, В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке / В.П. Суханов. – Москва : Химия, 1979. - 344 с.
5. Мкртычанц, К.П. Повышение качества управления процессом гидроочистки бензиновой фракции на установке каталитического риформинга // Студенческий форум: электрон. научн. журн. 2020. № 24(117). URL: <https://nauchforum.ru/journal/stud/117/75230> (дата обращения: 30.03.2024).



УДК 665.664.32

Мазанко Андрей Владиславович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Mazanko Andrey Vladiclavovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сафонова Евгения Олеговна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Evgenia Olegovna Safonova, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Чернавцева Наталия Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Chernavtseva Natalia Aleksandrovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Федулов Егор Александрович, главный технолог, ООО «РН-Комсомольский НПЗ»

Fedulov Egor Aleksandrovich, Chief Technologist, LLC «RN-Komsomolskiy NPZ»

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АМИНОВОЙ ОЧИСТКИ ТОПЛИВНОГО ГАЗА

### USE OF FUEL-GAS AMINE PURIFICATION SYSTEM

Аннотация. В работе рассматривается метод решения проблемы повышенного сброса диоксида серы в атмосферу, вследствие высокого содержания сероводорода в топливном газе печного оборудования, на примере установки каталитического риформинга одного из предприятий на территории Российской Федерации.

Abstract. The work considers a method for solving the problem of increased sulfur dioxide discharge into the atmosphere, as a result of the high content of sulfur-hydrogen in the fuel gas of the furnace equipment, using the example of a catalytic reforming plant of one of the enterprises on the territory of the Russian Federation.

Ключевые слова: аминовая очистка, диоксид серы, биосфера, установка каталитического риформинга, сероводород.

Key words: amine purification, sulfur dioxide, biosphere, catalytic reforming plant, hydrogen sulfide.

#### Введение

Востребованность процесса аминовой очистки обуславливается повышенным содержанием сероводорода в топливном газе установки каталитического риформинга (в среднем свыше 1% об.). Согласно технологическому регламенту его содержание не должно превышать 0,3% об. Это обусловлено тем, что сероводород обладает высокой коррозионной активностью. В случае его повышенного содержания наблюдается нарушение экологических норм за счёт выделения SO<sub>2</sub> в процессе сжигания в печах топливного газа, содержащего сероводород, а также повышенная коррозия трубопроводов.

**Цель работы:** произвести расчёт массообменного процесса с применением раствора на основе метилдиэтанолamina, позволяющий существенно снизить концентрацию сероводорода в топливном газе до нормированных значений.

**Степень проработанности:** Произведён расчёт количества подаваемого абсорбента для процесса аминовой очистки, а также рассчитан экономический эффект от реализации проекта.

#### Основная часть

**Выбор метода.** В соответствии с поставленной целью были проанализированы различные литературные источники, из которых следует, что наиболее эффективным в объёмах производства нефтехимических заводов является абсорбционная очистка газовых смесей преимущественно аминными поглотителями. В таблице 1 представлен сравнительный анализ физико-химических свойств абсорбентов МЭА и МДЭА, из которого видно, что абсорбент МДЭА обладает оптимальными характеристиками.

Таблица 1 - Физико-химические свойства МЭА, ДЭА и МДЭА

Показатели	МЭА	ДЭА	МДЭА
Молекулярный вес (г/моль)	61,1	105	119,2
Вязкость (Па*с)	$24,1 \cdot 10^{-3}$	$38 \cdot 10^{-2}$	$10,1 \cdot 10^{-2}$
Плотность при 20 °С (г/см <sup>3</sup> )	1,015	1,096	1,038-1,046
Давление паров при 40 °С (Кпа)	7,4	7,4	7,4
Температура кипения при 0,1 Па (°С)	172	268	250
Температура вспенивания (°С)	93	148,9	-
Коррозионная активность, мм/год:			
Насыщенный абсорбент	0,022	-	<b>0,016</b>
Регенерированный абсорбент	0,008	-	<b>0,007</b>

**Расчётная часть.** Определившись с технологией очистки, сформирован перечень исходных данных (таблица 2), на основании которых был произведён расчёт числа действительных ступеней (рис. 1,2) и количества необходимого поглотителя (в данной статье расчёты не приводятся).

Таблица 2 – Исходные данные

Параметр	Значение
Средний расход топливного газа	3135,31 кг/ч
Средняя плотность топливного газа при нормальных условиях	1,7 кг/м <sup>3</sup>
Плотность сероводорода	1,36 кг/м <sup>3</sup>
Плотность метилдиэтанолamina	1041 кг/м <sup>3</sup>
Начальный объём сероводорода	1,24 %
Конечный объём сероводорода	0,1 %
Молярная масса сероводорода	0,034 кг/моль
Средняя температура процесса абсорбции	318 К

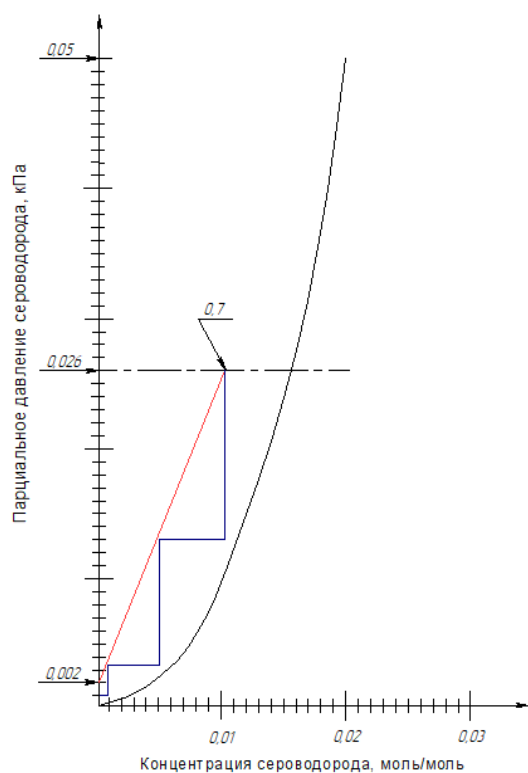


Рисунок 1 - Определение числа теоретических ступеней при коэффициенте насыщения 0,7

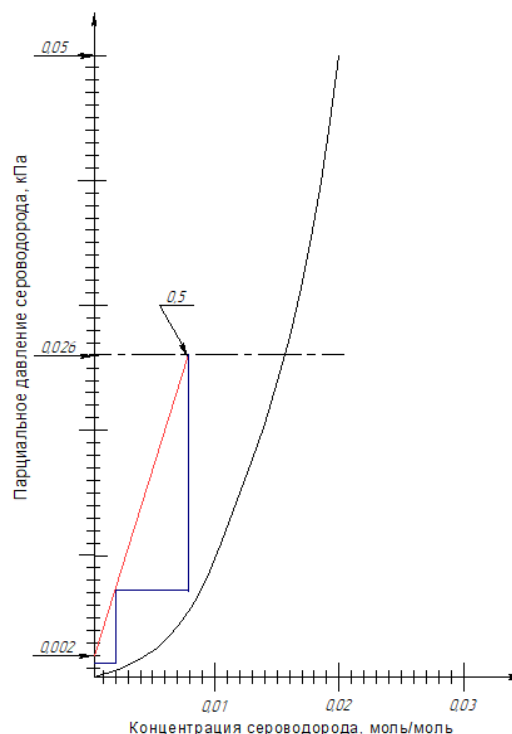


Рисунок 2 - Определение числа теоретических ступеней при коэффициенте насыщения 0,5

**Результаты расчётов.** Анализируя результаты расчётов (таблица 3), можно сделать вывод, что минимальное допустимое число ступеней процесса равно трём. Расход абсорбента составит 2-3 м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 3 – Результаты расчётов

Параметры	Коэффициент насыщения					
	0,5			0,7		
Расход топливного газа (м <sup>3</sup> /ч)	1844,3					
Производительность абсорбера по поглощаемому компоненту (кг/с)	0.11					
Максимальный расход поглотителя (м <sup>3</sup> /ч)	1,97			1		
Рабочий расход поглотителя с учётом поправочного коэффициента (м <sup>3</sup> /ч)	≈ 3			2		
Коэффициент полезного действия контактного устройства. %	0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7
Число действительных ступеней	5	4	3	8	5	5

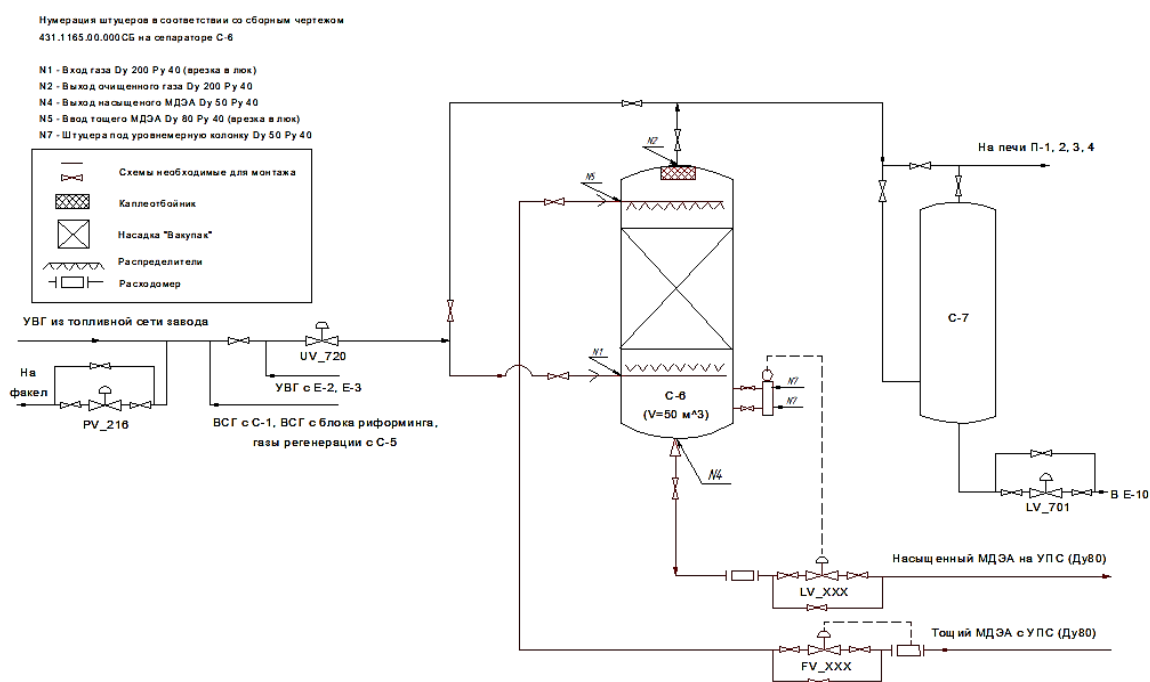


Рисунок 2 - Технологическая схема блока аминовой очистки

**Экономическая эффективность.** Экономический эффект от внедрения блока очистки реализуется за счет: уменьшения выбросов сероводорода в атмосферу, и тем самым происходит исключение штрафов и санкций за превышение норматива; увеличения срока службы технологического оборудования в связи с уменьшением воздействия сероводородной коррозии.

Основываясь на данных из таблицы 4, можно сделать вывод, что проект является эффективным в реализации, а срок его окупаемости с учётом дисконтирования составит три года.

### Заключение

В результате применения аминового абсорбера на технологической установке каталитического риформинга удастся снизить содержание сероводорода в топливном газе до регламентированного значения (менее 0,3 % об.), увеличится межремонтный пробег трубопроводов и аппаратов, возрастет продолжительность эксплуатации фильтров и форсунок, установленных на печах, а также уменьшится негативное влияние на экологическую обстановку.

Таблица 4. Экономическая эффективность

Показатель	Чистая приведённая стоимость, тыс. руб.	Внутренняя норма доходности, %	Дисконтированный индекс доходности	Срок окупаемости, лет
Проект	2 990 370	49	2,024	3
Проект эффективен т.к.	>0	> 20%	> 1	<10

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Исаев, М. Поглотители сероводорода для сырой нефти / М. Исаев, Д. Гусев // Территория Нефтегаз. – 2020. – № 1-2. – С. 86. – EDN NFCFEO.
2. Гайле, А. А. Процессы разделения и очистки продуктов переработки нефти и газа : учебное пособие для специальностей 240401 - "Химическая технология органических веществ", 240403 - "Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов" и для подготовки магистров по направлению 240100.68 - "Химическая технология" / А. А. Гайле, В. Е. Сомов ; А. А. Гайле, В. Е. Сомов. – Санкт-Петербург : Химиздат, 2012. – ISBN 978-5-93808-199-4. – EDN QNFIХТ.
3. Поглотители сероводорода серии аддитоп – эффективное решение снижения содержания сероводорода в топливах / А. В. Ситдикова, И. Ф. Садретдинов, А. С. Алябьев [и др.] // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2012. – № 2. – С. 479-489. – EDN RPEQMZ.
4. Сверчкова, Ю. Л. Отравления сероводородом / Ю. Л. Сверчкова, Д. Ю. Ерошенко, В. А. Бородин // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – Т. 1. – С. 566-567. – EDN YXLPFJ.
5. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» : Приказ Ростехнадзора от 26.11.2020 N 461. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: по подписке. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=386610> (дата обращения: 06.04.2024).

УДК 621.9.05

Максимова Ольга Евгеньевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Maximova Olga Yevgenyevna, student of Komsomolsk-na-Amure State University

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

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

#### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

#### IMPROVEMENT OF METROLOGICAL SUPPORT OF PRODUCTION

Аннотация. Работа посвящена внедрению системы 1С: «Метрология» в организации. В ходе исследования были рассмотрены основные аспекты и преимущества внедрения системы, а также проанализированы этапы и задачи, с которыми сталкиваются компании в процессе внедрения. Были рассмотрены основные функции системы, включающие автоматизацию процессов метрологического контроля и учета измерительных приборов, а также проведение регламентных и учетных работ. В работе представлены

результаты исследования, которые позволяют определить эффективность и целесообразность внедрения системы 1С Метрология для организаций различного масштаба и сферы деятельности.

Abstract. The article is devoted to the implementation of the 1С Metrology system in the organization. During the research, the main aspects and advantages of the system implementation were considered, as well as the stages and tasks faced by companies in the implementation process were analyzed. The main functions of the system were considered, including automation of the processes of metrological control and accounting of measuring instruments, as well as routine maintenance and accounting work. The article presents the results of a study that allows us to determine the effectiveness and expediency of implementing the 1С Metrology system for organizations of various scales and fields of activity.

Ключевые слова: СИ, СИЕИ, «1С:Метрология», TEAM Center, ФСА, ГСО.

Key words: SI, SIEI, 1С:Metrology, THEAM Center, FSA, GSO.

## Введение

В настоящее время прослеживаемость на всех этапах производства переводится в цифровой формат - от закупки компонентов до послепродажного обслуживания. Этот аспект минимизирует или устраняет риск происшествий, а бережливое производство экономит ресурсы. Одной из целей исследования является повышение контроля качества выпускаемой продукции за счет улучшения контроля измерений.

В соответствии с федеральным законом ФЗ №102 от 26.06.2019 статья 5, п.1 «Измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, должны выполняться с применением средств измерений утвержденного типа и прошедших поверку» [1-5].

## Основная часть

На любом промышленном предприятии не исключается возможность применения не поверенных средств измерений при контроле качества продукции. До внедрения программы 1С: «Метрология» регистрация всех этапов поверки средств измерений в подразделениях отражалась в журналах неавтоматизированным способом. Контролировать сроки поверки в подразделениях и сопоставлять их с выданными на руки средствами измерений по журналам, являлась трудоемкой задачей, основные этапы которой отражены на рисунке 1.

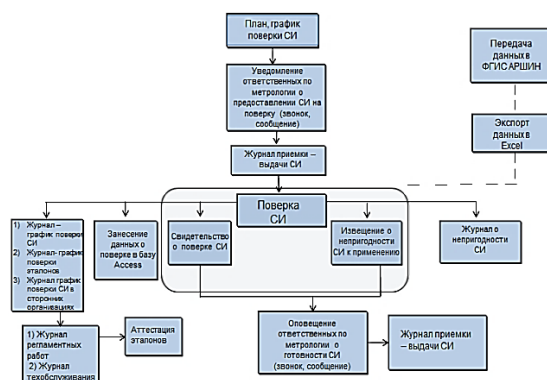


Рисунок 1 - Схема поверки СИ до внедрения 1С: «Метрология»

Внедряемая система 1С: «Метрология», адаптированная для машиностроительного предприятия, позволит решить данную проблему и расширит пользовательские возможности по обеспечению единства измерений, внося ряд преимуществ:

- Управление ресурсами для мониторинга и измерений;
- Передача данных в ФГИС Аршин (Федеральная Государственная информационная система Аршин) непосредственно из программы «1С метрология»;
- Передача данных в ФСА (Федеральная служба по аккредитации) непосредственно из программы 1С: «Метрология»;

- Использование данных о средствах измерений в технологических процессах (TEAM Center), бухгалтерском учете (инвентарный номер, статус оборудования или СИ, учёт драгметаллов).

**Объектами программы 1С: «Метрология» являются:**

- Средства измерений.
- Эталонные средства измерений.
- Испытательное оборудование.
- ГСО (Государственные стандартные образцы).
- Средства контроля, СИЕИ (средства измерений единичного изготовления).
- Индикаторы.
- Вспомогательное оборудование.

В ходе работе с программой 1С: «Метрология» автоматизируется внесение данных об объектах в систему (совместно со специалистами УИТ осуществляется передача данных с разных источников информации) и происходит адаптация системы под функциональные задачи метрологической службы на предприятии. Основные этапы приведены на рисунке 2.

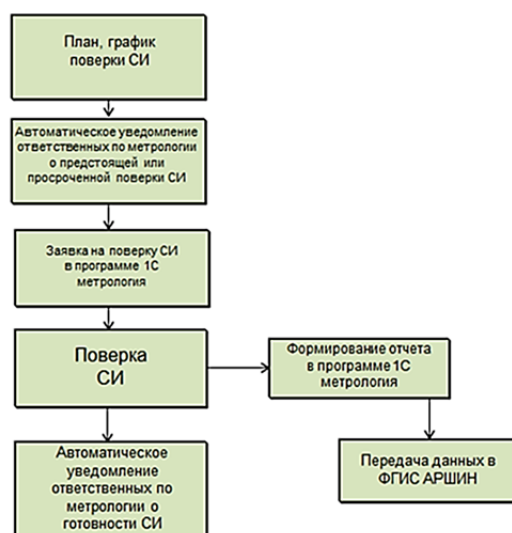


Рисунок 2 – Схема поверки СИ после внедрения в 1С: «Метрология»

**Результат внедрения 1С: «Метрология»:**

- исключение применения не поверенных средств измерений;
- исключение ведения журналов учёта и необходимости документального подтверждения пригодности средств измерений к контролю качества продукции;
- уведомление подразделений о необходимости сдачи средств измерений на поверку;
- информация об объектах, подлежащих метрологическому контролю;
- использование информации о средствах измерений при отработке технологических процессов;
- возможность расчёта необходимого количества средств измерений;
- возможность формирования графиков поверки средств измерений в электронном виде;
- перевод перечней средств измерений, средств контроля, стандартных образцов, индикаторов, испытательного оборудования и др. в электронный вид;
- формирование автоматических отчетов и сведений о результатах работы метрологической службы Филиала;
- сводная информация об объектах системы (СИ, ГСО, ИО и др.) находится в одном месте.

Последующие задачи в рамках автоматизации обеспечения единства измерения на машиностроительном предприятии – это: создание консоли в системе 1С: «Метрология» для каждого подразделения с уведомлением об изменениях; определение роли от-

ветственных по метрологии с возможностью самостоятельного управления средствами измерений (заявка на исключение СИ из перечня, перевод на длительное хранение, перевод СИ в индикаторы и много другое).

#### **Заключение**

Внедрение системы 1С Метрология позволяет существенно улучшить качество производства продукции/услуг, повысить надежность измерений, обеспечить соответствие требованиям стандартов и нормативных документов. Система позволяет оптимизировать процессы и снизить риски, связанные с неправильными измерениями или использованием устаревшего оборудования. Внедрение системы 1С Метрология является разумным шагом для повышения эффективности работы метрологическими процессами.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – Введ. 2019-09-01. – М.: Стандартинформ, 2021. – 26 с.
2. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2010 г. N 268 "Об утверждении Правил внедрения и применения раздела "Метрология" Национальной системы стандартизации Российской Федерации". // URL: <https://base.garant.ru/12177991/> (дата обращения: 10.07.2021).
3. Райымкулов, Д. М. Совершенствование метрологического обеспечения производства как фактор повышения конкурентоспособности предприятия / Д. М. Райымкулов. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2018. – № 17 (203). – С. 78-79. – URL: <https://moluch.ru/archive/203/49669/> (дата обращения: 12.03.2024).
4. Руководство по внедрению системы управления качеством ISO 9001 в метрологической лаборатории. // URL: <https://www.docme.ru/doc /451798/rab-na-innovat.doc-xls-txt> (дата обращения: 10.07.2021).
5. Экономика метрологического обеспечения [Текст]: учебно-методическое пособие / Ю. А. Голиков.–Новосибирск: СГГА.- 2009.–180 с.

УДК 621.926.32

Миронова Полина Георгиевна, студент, Калининградский государственный технический университет

Mironova Polina Georgievna, student, Kaliningrad State Technical University

Середа Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теории механизмов и машин и деталей машин, Калининградский государственный технический университет

Sereda Natalya Aleksandrovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kaliningrad State Technical University

## **МЕЖВАЛЬЦОВЫЕ ПЕРЕДАЧИ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ МАШИН**

### **INTER-ROLL TRANSFERS OF CRUSHING MACHINES**

Аннотация. В настоящем материале рассматривается техническая и патентная литература, посвященная конструкциям измельчающих технологических машин, их межвальцовым передачам. Анализ упомянутых конструкций выполнен с целью поиска классификационного признака. Такие машины разделены на три группы по типу применяемой межвальцовой передачи. Это деление позволит грамотно выполнить анализ межвальцовых передач в структурном и кинематическом плане.

Abstract. The article discusses technical and patent literature. It is devoted to the designs of grinding technological machines. The analysis of the structures was carried out in order to search for a classification attribute. Roll type processing machines are divided into three groups. The division is made according to the type of inter-roll transmission. This division makes it possible to correctly analyze the inter-roll gears in structural and kinematic terms.

Ключевые слова: техническая литература, патентная литература, измельчающая машина, классификационный признак, тип передачи

Key words: technical literature, patent literature, roll type processing machine, classification attribute, type of transmission

### **Введение**

Как известно, измельчающие технологические машины применяются в разных отраслях промышленности: пищевой (мукомольной, крупяной), сельскохозяйственной, строительной, горнорудной и химической. К таким машинам относят щековые, конусные, валковые дробилки; машины ударного действия (роторные, молотковые).

Существует классификация технологических машин валкового типа, приведенная в источниках [1, 2]. По количеству валков различают машины с одним, двумя и четырьмя валками. Форма боковой поверхности валков бывает гладкая, рифленая и зубчатая.

Различают валки круглого и РК-профиля [2]. Измельчающая машина может содержать один или два единичных валка, насаживаемых на вал, а также сборные валки, состоящие из ряда дисков, имеющих, например РК-профиль.

В настоящей статье обратим внимание на конструкции межвальцовых передач технологических машин, предложенных в 1960-1980 гг., выполним их анализ, направленный на поиск классификационного признака для таких машин. В качестве объектов исследования выбраны межвальцовые передачи измельчающих машин. При подготовке настоящего материала применялись методы эмпирического (сравнение технических объектов) и теоретического (анализ конструкций передач) исследований. Цель исследования – анализ технической и патентной литературы за период с 1960 по 1980 гг., посвященной конструкциям межвальцовых передач с элементами поиска признака их классификации.

Сформулированы три задачи исследования: 1. Выявить классификационный признак измельчающих технологических машин валкового типа; 2. Выполнить деление машин валкового типа на три группы; 3. Рассмотреть конструкции технологических машин валкового типа трех групп, а именно: с межвалковыми зубчатой передачей, зубчато-рычажным механизмом и передачей с двухсторонней зубчатой цепью.

### **Основная часть**

1. Рассмотрим измельчающие технологические машины валкового типа с **межвалковыми зубчатыми передачами**.

Известен передаточный механизм, выполненный в виде двух зубчатых передач [3]. Шестерня и зубчатое колесо установлены на валах первого и второго вальцов. Шестерня первого вальца сопрягается с зубчатым колесом, закрепленным на оси. Упомянутое зубчатое колесо входит в зацепление с шестерней, также смонтированной на оси. Названные оси размещены параллельно друг другу и параллельно валам. Зубчатое колесо второго вальца входит в зацепление с шестерней, размещенной на оси.

На рисунке 1 приведена схема дробилки с межвалковой зубчатой передачей [4]. На валах 3 и 4 смонтированы шестерни 1 и 2. Эти шестерни не взаимодействуют. На упомянутых валах насажены быстро- и медленно вращающиеся валки (на рисунке 1 не показаны). Валки расположены рядом так, что образуют зазор, необходимый для дробления материала. На неподвижной оси 5 установлен блок из двух соосно размещенных деталей: большое колесо 7 и малое колесо 8. При этом шестерня 1 и колесо 7 образуют пару, шестерня 8 и колесо 9 также сопрягаются. Названное колесо 9 смонтировано на валу 6 и взаимодействует с шестерней 2. Упомянутая шестерня 2 и зубчатое колесо 7 не взаимодействуют, а находятся в разных плоскостях.



На оси 5 шарнирно закреплен корпус 10. При необходимости корпус может совершать качательное движение на малый угол относительно точки  $O_3$ . Варьирование зазора между валками осуществляется посредством механизма настройки 11, который способствует повороту корпуса 10 совместно с деталями 7, 8 и 9.

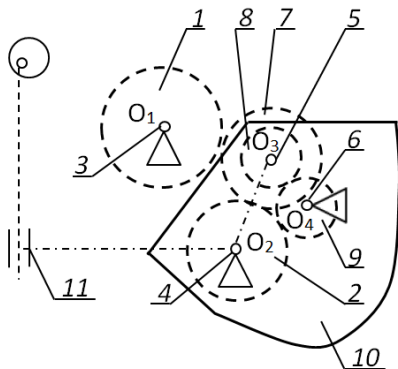


Рисунок 1 – Схема дробилки с межвалковой зубчатой передачей

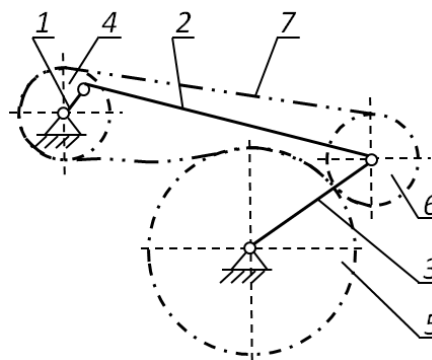


Рисунок 2 – Схема межвалковой передачи измельчающей машины

## 2. Измельчающие технологические машины валкового типа с **межвалковым зубчато-рычажным механизмом**.

Известна валковая дробилка, применяемая на мукомольных заводах [5]. Она содержит быстро- и медленнорвращающиеся валки. На валах валков размещены цилиндрические шестерня и зубчатое колесо. При этом шестерня смонтирована соосно с быстровращающимся валком.

Межосевое расстояние в цилиндрической зубчатой передаче не изменяется, а расстояние между осями вращающихся валков может варьироваться в пределах необходимого зазора между ними. Это обеспечивается рычажным механизмом. Блок и двуплечее коромысло такого механизма шарнирно закреплены на станине. Противоположный конец двуплечей детали образует кинематическую пару с подпружиненным звеном, которое соединено с упомянутым блоком шарнирно. Ось вращения блока и точка его шарнирной связи с подпружиненным звеном находятся на некотором расстоянии друг от друга. Это расстояние равно длине кривошипа.

Упомянутое двуплечее коромысло имеет небольшой угловой ход; это обстоятельство обеспечивает варьирование расстояния между валками.

## 3. Рассмотрим измельчающие технологические машины валкового типа с **межвалковым рычажным механизмом и передачей с двухсторонней зубчатой цепью**.

В изобретении по патенту [6] в качестве рычажного механизма выбран двухкривошипный механизм (рисунок 2). Этот механизм содержит ведущий 1 и ведомый 3 кривошипы, шатун 2. На валу ведущего кривошипа насажена звездочка 4 быстровращающегося вальца; вал ведомого кривошипа 3 связан со звездочкой 5 медленного вальца. Шатун 2 соединяет звездочку 4 быстрого вальца и направляющую звездочку 6, совершает плоскопараллельное движение. Звездочки 4, 5 и 6 связаны двусторонней зубчатой цепью.

Отметим, что делительные окружности звездочек 4 и 6 находятся на расстоянии равно  $l_4 - (R_4 + R_6)$ . Здесь  $l_4$  – длина между осями вращения звездочек 4 и 6;  $R_4$  и  $R_6$  – радиусы делительных окружностей звездочек 4 и 6 соответственно. При этом делительные окружности звездочек 5 и 6 соприкасаются так, что  $l_3 = R_5 + R_6$ , где  $l_3$  – длина ведомого кривошипа;  $R_5$  и  $R_6$  – радиусы делительных окружностей звездочек 5 и 6 соответственно.

Кривошип 1 и звездочка 4 быстрого вальца совершают вращательное движение, которое посредством шатуна 2 трансформируется во вращательное движение кривошипа 3 и звездочки 5 медленного вальца. Таким образом, в процессе работы межвалковой передачи генерируется движение направляющей звездочки 6 вокруг звездочки 5 медленного вальца.

## **Заключение**

Анализ технической и патентной литературы за период с 1960 по 1980 гг., посвященной конструкциям измельчающих валковых машин, позволил выявить признак их классификации – тип межвалцово́й передачи; выполнить деление измельчающих машин на три группы по этому признаку; рассмотреть конструкции машин валкового типа выделенных групп.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Сиваченко, Л. А. История развития и современный уровень техники измельчения / Л. А. Сиваченко, Ю. К. Добровольский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2012. – № 4(37). – С. 69-76. – DOI 10.53078/20778481\_2012\_4\_69. – EDN RWCEWJ.

2. Ефимов, Д. А. Перспективы использования валков с профилем Рело в дробилке и измельчающих валках высокого давления / Д. А. Ефимов, А. П. Господариков // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 4(162). – С. 36-43. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-4-36-43. – EDN KHZKZO.

3. Авторское свидетельство № 279328 А1 СССР, МПК В02С 4/02, В02С 4/42. Передаточный механизм двухвалцовой дробилки : № 1240290/29-33 : заявл. 22.04.1968 : опубл. 21.08.1970 / А. К. Андрюшин, Е. Н. Борщев. – EDN ROMLUS.

4. Авторское свидетельство № 138118 А1 СССР, МПК В02С 4/42, F16H 1/20. Межвалковая передача к мукомольному вальцовому станку : № 682334 : заявл. 17.10.1960 : опубл. 01.01.1961 / П. Г. Шишов. – EDN SPDHCY.

5. Авторское свидетельство № 185193 А1 СССР, МПК В02С 4/42, F16H 1/04. Механизм межвалцовой передачи мукомольного вальцового станка : № 925903/28-13 : заявл. 22.10.1964 : опубл. 30.07.1966 / П. Г. Шишов. – EDN HPGOSA.

6. Авторское свидетельство № 261851 А1 СССР, МПК В02С 4/42, F16H 7/06. Цепная межвалцовая передача мелющего вальцового станка, парным вальцам которого сообщается неравная окружная скорость : № 1205222/28-13 : заявл. 25.12.1967 : опубл. 13.01.1970 / Г. Д. Гальперин, А. С. Гончаренко ; заявитель Одесский технологический институт им. М.В. Ломоносова. – EDN ZKTUAB.

УДК 665.642.2

Михайлов Савелий Олегович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Mikhailov Saveliy Olegovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Проценко Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Protsenko Alexander Evgenievich, Candidate of Technical Sciences, Komsomolsk-na-Amure State University

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВИСБРЕКИНГА**

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF VISBREAKING TECHNOLOGICAL PROCESSES**

Аннотация. В данной статье рассматривается установка вторичной переработки нефтепродуктов, что позволит сократить количество отходов, образующихся в процессе промышленного производства, увеличить глубину переработки нефти. Внедрение данной установки положительно скажется как на состоянии окружающей среды, так и на экономических показателях предприятия. Также в данной статье уделяется особое внимание способам висбрекинга, описанию их плюсов и минусов.

Abstract. This article discusses the installation of secondary processing of petroleum products, which will reduce the amount of waste generated in the process of industrial production, increase the depth of oil refining. The introduction of this installation will have a positive impact on both the state of the environment and the economic performance of the enterprise. This article also pays special attention to visbreaking methods, describing their pros and cons.

Ключевые слова: висбрекинг, печь, вторичная переработка.

Key words: visbreaking, bake, recycling.

### **Введение**

Объемы производства и ассортимент продукции нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности постоянно растут. В связи с этим эти предприятия оснащаются новым оборудованием и осваивают новые технологии для улучшения качества продукции, увеличения выхода целевых продуктов и снижения их себестоимости.

Наиболее простой, из этих методов – установка висбрекинга, позволяющая снизить потребление растворителя на 20 – 25% , а также повысить объем котельного топлива.

### **Основная часть**

Висбрекинг представляет собой процесс, при котором происходит однократный термический крекинг тяжелых продуктов при относительно мягких условиях. В основном сырьем висбрекинга является гудрон, также есть возможность перерабатывать тяжёлые нефти, мазута и асфальты [1].

Выделяют два основных типа висбрекинга: "печной" метод, который предполагает высокую температуру и короткое время пребывания, и висбрекинг с выносной реакционной камерой, проводимый при меньшей температуре, но более продолжительно время [2].

Цель висбрекинга – получение жидкого котельного топлива с меньшей вязкостью, а также увеличение производимого сырья для установок каталитического крекинга и гидрокрекинга.

В обоих процессах образуются побочные продукты – газы и бензиновые фракции, их доля обычно не превышает 3-8% от массы сырья.

Печной висбрекинг проводится при более жестких условиях: высокой температуре и коротком времени контакта. Главным достоинством печного метода является наличие двух зон нагрева. Благодаря такой конструкции становится возможным:

- более рационально подводить тепло и точнее регулировать температуру нагрева сырья;
- проще удалять кокс из печных труб с помощью паровоздушного метода отчистки;
- производить стабильное котельное топливо, что особенно важно для нефтеперерабатывающих предприятий с ограниченными возможностями смешения топлив [3].

Однако существуют и недостатки: быстрый темп коксообразования в печи, большой расход горючего, значительный перегрев стенок змеевика и короткий межремонтный период (6-12 месяцев).

Висбрекинг с внешней реакционной камерой отличается более низким температурным режимом и более продолжительным временем контакта. Конструкция его реактора схожа с той, что используется в модели идеального вытеснения.

Использование реакционных выносных камер позволяет использовать печи с меньшей тепловой эффективностью, что преобразует процесс в более эффективный с точки зрения использования тепла от газов и снижения производства водяного пара [4].

Преимущества висбрекинга с применением реакционных камер по отношению к печному процессу включают:

- более медленное образование кокса в аппаратах;
- низкие эксплуатационные расходы;
- продолжительный межремонтный промежуток времени (до двух лет);
- меньшие размеры печи;
- устойчивость к аварийным ситуациям;

Основным недостатком данного метода являются дополнительные затраты и сложность в очистке реакционной камеры.

#### **Заключение**

Свойства котельного топлива, полученного методом висбрекинга в реакционной камере и висбрекинга в трубчатой спирали, практически не имеют отличий. Тем не менее, из-за жестких условий, протекающих в реакционной спирали, и сильного перегрева пленки жидкости, стабильность котельного топлива оказывается несколько выше, когда процесс протекает в выносной реакционной камере.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Леффлер, У. Л. Переработка нефти / У. Л. Леффлер. – 2-е изд., пересмотренное. – М.: ЗАО «Олимп – Бизнес», 2005. – 224 с. - ISBN:5-901028-05-8
2. Солодова, Н. Л. Висбрекинг : Учебное пособие / Н. Л. Солодова, Е. А. Емельянычева. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. – 135 с. – ISBN 978-5-7882-1652-2. – EDN ZGJWQL
3. Каминский, Э. Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты / Э. Ф. Каминский, В. А. Хавкин. – М. : Техника, 2001. – 384 с.- ISBN: 5-93969-011-4
4. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов / С. А. Ахметов – Уфа: Гилем, 2002 – 672 с.- ISBN: 5-7501-0296-3

УДК 541.49

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, заведующая кафедрой «Химии и химических технологий», Комсомольский-на Амуре государственный университет  
Shakirova Olga Grigorievna, Dr.Sci.Chem., Associate Professor, Head of department “Chemistry and Chemical Technologies” Komsomolsk-na-Amure State University

#### **КОМПЛЕКСЫ ЖЕЛЕЗА(II)**

#### **С 2,6-БИС(1H-ИМИДАЗОЛ-2-ИЛ)-4-ХЛОРОПИРИДИНОМ**

#### **IRON(II) COMPLEXES**

#### **WITH 2,6-BIS(1H-IMIDAZOL-2-YL)-4-CHLOROPYRIDINE**

Аннотация. Синтезированы и исследованы новые комплексы железа(II) с 2,6-бис(1H-имидазол-2-ил)-4-хлоропиридином (L) состава  $[\text{FeL}_2]\text{Cl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $[\text{FeL}_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $[\text{FeL}_2]\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Выводы о составе и строении соединений сделаны на основании данных ЭА, ТГ/ДСК, инфракрасной и электронной спектроскопии диффузного отражения. Для соединений наблюдается термохромизм при нагревании.

Abstract. New iron(II) complexes with 2,6-bis(1H-imidazole-2-yl)-4-chloropyridine (L) of the composition  $[\text{FeL}_2]\text{Cl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $[\text{FeL}_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $[\text{FeL}_2]\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , were synthesized and investigated. Conclusions about the composition and structure of compounds were made based on data from EA, TG/DSC, infrared and electron diffuse reflection spectroscopy. Thermochromism is observed for compounds when heated.

Ключевые слова: синтез, комплексы, железо(II), 2,6-бис(1H-имидазол-2-ил)-4-хлоропиридин, спектроскопия.

Key words: synthesis, complexes, iron(II), 2,6-bis(1H-imidazol-2-yl)-4-chloropyridine, spectroscopy.

## Введение

Ранее мы показали целесообразность использования 2,6-бис(1*H*-имидазол-2-ил)-4-*R*-пиридинов (*R* = H, OCH<sub>3</sub>) как перспективных лигандов для получения магнитно-активных термохромных комплексов железа(II) [1–4].

Представляемая работа нацелена на исследование новых комплексных соединений железа(II) с 2,6-бис(1*H*-имидазол-2-ил)-4-хлоропиридином (**L**, схема 1) с внешне-сферными Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> анионами с помощью современных физико-химических методов анализа.

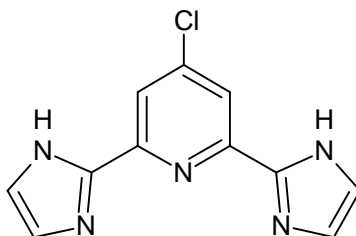


Схема 1 – Структура 2,6-бис(1*H*-имидазол-2-ил)-4-хлоропиридина (**L**)

## Экспериментальная часть

Все реагенты и растворители коммерчески доступны и были использованы без дополнительной очистки. 2,6-Бис(1*H*-имидазол-2-ил)-4-хлоропиридин (**L**) получен сотрудниками Новосибирского института органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН.

Термический анализ образцов проводился на синхронном термоанализаторе STA 409 PC Luxx производства NETZSCH-Gerätebau GmbH.

ИК-спектры поглощения снимали на спектрометре IRAffinity-1S в области 400–4000 см<sup>-1</sup>. Образцы готовили прессованием с KBr.

Спектры диффузного отражения регистрировали на сканирующем спектрофотометре UV-3101 PC фирмы Shimadzu при комнатной температуре.

## Результаты и их обсуждение

Координационные соединения железа(II) с 2,6-бис(1*H*-имидазол-2-ил)-4-хлоропиридином получали из подкисленных аскорбиновой кислотой водно-этанольных растворов при мольных соотношениях Fe:L = 1:2. На присутствие воды в составе соединений указывают как данные элементного анализа, так и ТГ/ДСК и ИК-спектроскопии. Достаточно пологие ступени потери массы на термограммах комплексов соответствуют процессу постепенной дегидратации в интервале температур 50–200 °С.

На рисунках 1 и 2 представлены инфракрасные спектры лиганда и полученных комплексов. Сравнение спектров показывает, что практически все полосы валентных и деформационных колебаний всех связей в комплексах изменяют свою интенсивность и смещаются по сравнению с таковыми у лиганда. Идентификация полос позволяет утверждать, что лиганд координируется к иону железа(II) тридентатно [5].

Электронные спектры диффузного отражения комплексов в области 500–515 нм демонстрируют полосу поглощения, относящуюся к d-d-переходу <sup>1</sup>A<sub>1</sub> → <sup>1</sup>T<sub>1</sub>. Положение полосы характерно для спектров низкоспиновых октаэдрических комплексов железа(II) с азотсодержащими лигандами. Также в области 850–950 нм визуально фиксируется широкая полоса поглощения, относящаяся к d-d-переходу <sup>5</sup>T<sub>2</sub> → <sup>5</sup>E в слабом искаженно-октаэдрическом поле лигандов (рисунок 3). Её положение характерно для спектров высокоспиновых октаэдрических комплексов железа(II) с азотсодержащими лигандами [6]. Кроме того, вблизи 665 нм наблюдаются малоинтенсивные полосы переноса заряда металл-лиганд ν<sub>1</sub>(e<sub>g</sub> → π<sub>L</sub><sup>\*</sup>).

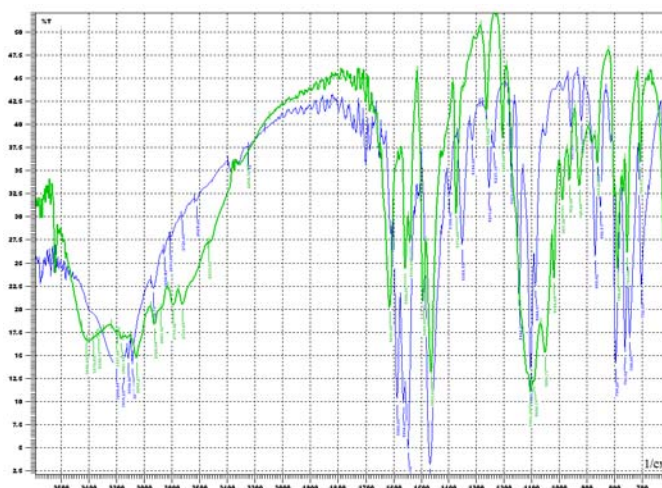


Рисунок 1 – ИК спектр  $[\text{FeL}_2]\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (зеленая линия) в сравнении с L (синяя линия)

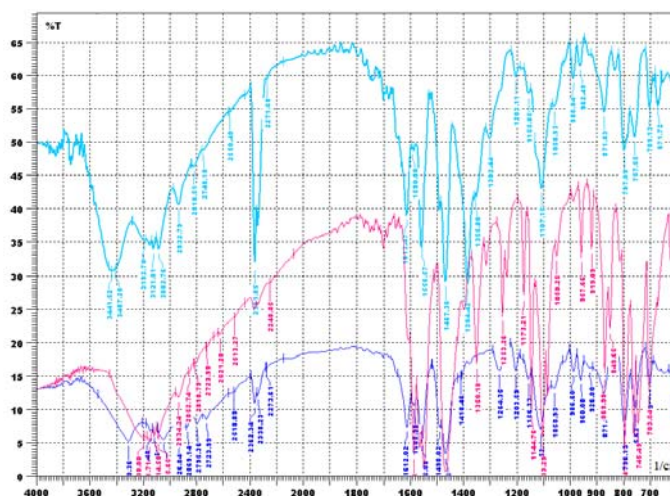


Рисунок 2 – ИК спектры  $[\text{FeL}_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (голубая линия) и  $[\text{FeL}_2]\text{Cl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (синяя линия) в сравнении с L (малиновая линия)

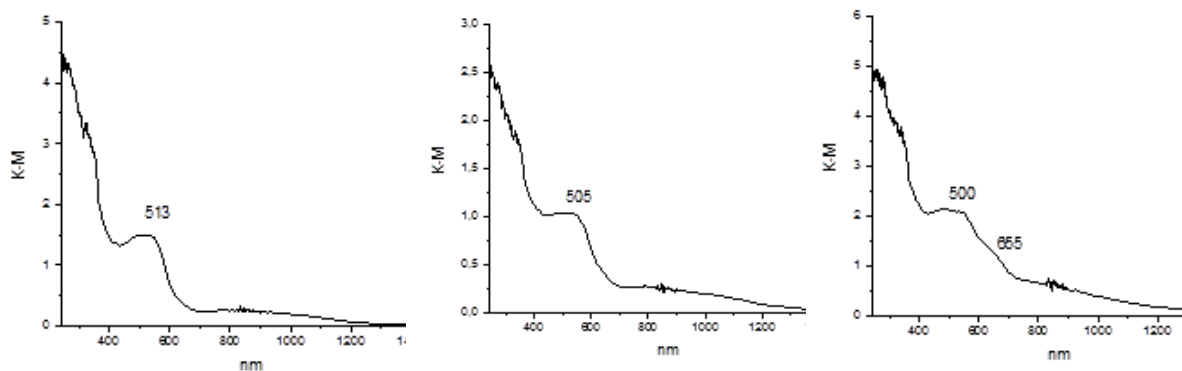


Рисунок 3 – Электронные спектры диффузного отражения комплексов:  $[\text{FeL}_2]\text{Cl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (слева),  $[\text{FeL}_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (по центру) и  $[\text{FeL}_2]\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (справа)

### Закключение

Получены и охарактеризованы новые комплексы железа(II) с 2,6-бис(*1H*-имидазол-2-ил)-4-хлоропиридином (L) состава  $[\text{FeL}_2]\text{Cl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $[\text{FeL}_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $[\text{FeL}_2]\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Доказано, что в комплексах реализован координационный узел  $\text{FeN}_6$ , перспективный для проявления в них эффекта спин-кроссовера. Для  $[\text{FeL}_2]\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  наблюдается термохромизм «малиновый ↔ белый» при нагревании, а для  $[\text{FeL}_2]\text{Cl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и  $[\text{FeL}_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – при охлаждении.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. High-Temperature Spin Crossover in Iron(II) Complexes with 2,6-Bis(1H-imidazol-2-yl)pyridine / L. G. Lavrenova, O. G. Shakirova, E. V. Korotaev [et al.] // *Molecules*. – 2022. – Vol. 27, No. 16. – P. 5093. – DOI 10.3390/molecules27165093. – EDN AFSQFN.
2. Spin Crossover and Thermochromism in Iron(II) Complexes with 2,6-Bis(1H-imidazol-2-yl)-4-methoxypyridine / O. G. Shakirova, I. A. Oskina, E. V. Korotaev [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, No. 12. – P. 9853. – DOI 10.3390/ijms24129853. – EDN PPIXQS.
3. Морозова, Т. Д. Комплексы железа(II) и меди(II) с новым лигандом 2,6-бис(1H-имидазол-2-ил)-4-метоксипиридином / Т. Д. Морозова, О. Г. Шакирова // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. – 2023. – № 3(157). – С. 35-43. – DOI 10.26730/1999-4125-2023-3-35-43. – EDN WKCNAV.
4. Морозова, Т. Д. Новые комплексы железа(II) с 2,6-бис(1H-имидазол-2-ил)-4-метоксипиридином / Т. Д. Морозова, О. Г. Шакирова // *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. 47-49. – EDN MRRFGP.
5. Накамото, К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: Пер. с англ. – мир, 1991.
6. Ливер Э. Электронная спектроскопия неорганических соединений. Т. 2. М.: Мир, – 1987, – 445 с. [Lever A.B.P. *Inorganic Electronic Spectroscopy*, 2nd ed.; Elsevier: Amsterdam. The Netherlands. 1985. ISBN 978-0-444-42389-4]

УДК 621.10

Немолякина Екатерина Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Nemolyakina Ekaterina Andreevna, student of 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

## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВИАСТРОЕНИИ

### ADDITIVE TECHNOLOGIES IN AIRCRAFT ENGINEERING

Аннотация. Отличительной особенностью деталей самолета является их высокая прочность при небольшом весе. Наличие большого количества элементов, повышающих жесткость, усложняет конструкцию детали и делает ее не технологичной. Целью работы является повышение технологичности производства детали «кронштейн» за счет применения метода 3D-печати. Для повышения технологичности производства детали «кронштейн» предложен метод - прямое лазерное спекание металлов (DMLS), позволяющий создавать изделия сложной формы с высоким разрешением из металлических сплавов. Произведен выбор материала – аналога, применяемого для 3D-печати.

Abstract. A distinctive feature of aircraft parts is their high strength with low weight. The presence of a large number of elements that increase rigidity complicates the design of the part and makes it low-tech. The goal of the work is to improve the manufacturability of the production of the “bracket” part through the use of the 3D printing method. To improve the manufacturability of the production of the “bracket” part, a method has been proposed - direct metal laser sintering (DMLS), which makes it possible to create products of complex shapes with high resolution from metal alloys. A material has been selected - an analogue used for 3D printing.

Ключевые слова: 3D-печать, алюминиевый сплав, прямое лазерное спекание, постобработка  
Key words: 3D printing, aluminum alloy, direct laser sintering, post-processing

## Введение

Отличительной особенностью деталей самолета является их высокая прочность при небольшом весе. Наличие большого количества сопряжений, ребер жесткости и других элементов, повышающих жесткость, но усложняющих конструкцию детали, негативно сказывается на технологичности. Малые объемы производства каждой конкретной детали делают неэффективным их производство методами литья и пластического деформирования. Поэтому, зачастую коэффициент использования материала при производстве деталей в авиастроении не превышает 0,5.

В настоящее время активно развивается новое технологическое направление – аддитивные технологии, позволяющие, в отличие от субтрактивных методов, создавать изделия не удалением лишнего материала от заготовки, а послойным наращиванием. Аддитивное производство позволяет экономить материалы, время и средства производителю, имеет ощутимое влияние на конечную стоимость продукта, и как следствие приведет к снижению цен на технически сложные изделия для конечного потребителя [1, 2].

Целью работы является повышение технологичности производства детали «кронштейн» за счет применения метода 3D-печати.

Исходя из цели работы, определены следующие задачи:

- выбор метода изготовления детали для 3D-печати;
- выбор материала-аналога.

## Основная часть

«Кронштейн» (рисунок 1) представляет собой сложнопрофильную деталь Т-образной формы с отверстиями для размещения и закрепления других деталей в сборке. Габариты детали 80x85x86мм. Деталь изготавливается из алюминиевого жаропрочного сплава АК4-1.

В базовом технологическом процессе изготовления детали «кронштейн» основными формообразующими операциями являются: обработка на фрезерном станке с ЧПУ, обработка отверстий на координатно-расточном станке и окончательная слесарная обработка. Также деталь подвергается термообработке. Основное время изготовления детали составляет 3 часа 15 минут. Большая часть этого времени отводится на фрезерную обработку. Коэффициент использования материала по базовому технологическому процессу составляет 0,52.

Изготовление детали методом 3D-печати позволит существенно повысить коэффициент использования материала, а тем самым и технологичность ее производства.

## Выбор материала детали

Для создания изделий из металлов и сплавов применяются методы 3D-печати, основанные на сплавлении, либо спекании, металлических порошков зернистостью 20-40 мкм. На сегодняшний день отечественной металлургической промышленностью выпускаются порошки алюминиевых сплавов для 3D-печати следующих марок: RS-300 (AlSi10Mg), RS-553 (сплав системы Al-Mg-Sc), RS-320 и др. [3, 4]. Наиболее близким по механическим свойствам аналогом сплава АК4-1 является порошок марки RS-300. Размер металлических частиц составляет в среднем 20 мкм.

## Выбор метода 3D-печати

Технология производства деталей с применением 3D-печати обычно включает два этапа: непосредственно выращивание детали (заготовки) и постобработка (удаление опорных конструкций и окончательное придание изделию требуемых свойств, формы, размеров и точности). Деталь «кронштейн» не имеет в своей конструкции элементов, требующих использования опорных конструкций.

В настоящее время применение получили три метода трехмерной печати на основе металлического порошка: селективное лазерное плавление (SLM), электронно-

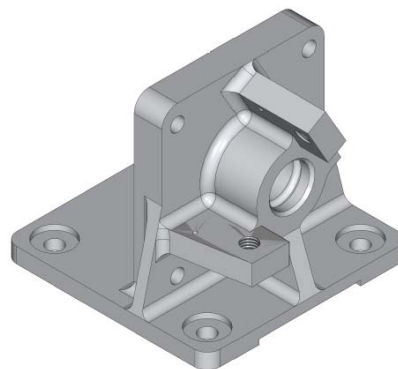


Рисунок 1 – Деталь «Кронштейн»



лучевая плавка (EBM) и прямое лазерное спекание металлов (DMLS) [5]. Выбран метод DMLS, позволяющий создавать изделия сложной формы с высоким разрешением из металлических сплавов. Изделие, изготовленное этим методом, обладает достаточно высокой точностью формы и размеров и не требует трудоемкой доработки субтрактивными методами. Размеры 3D-принтеров, основанных на методе DMLS позволяют размещать на рабочей платформе несколько изделий, соответствующих «кронштейну» по габаритам.

В качестве постобработки детали «кронштейн», выращенной на DMLS принтере, потребуется: отделение выращенной детали от пластины построения; очистка от остатков порошка; механическая обработка плоских поверхностей и отверстий, требующих высокой точности обработки; термообработка.

### **Заключение**

Работа посвящена повышению технологичности производства детали «кронштейн». В работе проведен краткий обзор методов 3D-печати изделий из алюминиевых сплавов. Выбран метод прямое лазерное спекание металлов (DMLS), позволяющий создавать изделия сложной формы с высоким разрешением из металлических сплавов. Произведен выбор материала – аналога AlSi10Mg с учетом характеристик сплава АК4-1. Изготовление детали методом 3D-печати позволит существенно повысить коэффициент использования материала, а тем самым и технологичность ее производства.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Лыгин, Е. В. Внедрение аддитивных технологий для изготовления деталей авиационной техники / Е. В. Лыгин, А. И. Пронин // 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. 55-57. – EDN TBWAYG.

2. Краско, А.С. Сокращение трудоемкости изготовления деталей типа "блиск" за счет применения технологии электронно-лучевой плавки / А. С. Краско, Н. С. Баранова, А. А. Мокану // Международная научно-техническая конференция "Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике" ("МНТК ФТИ-2017") : Сборник научных трудов, Москва, 06–07 апреля 2017 года / Под редакцией Булатова М.Ф.. Том Выпуск 23 (XXIII). – Москва: Московский технологический университет (МИРЭА), 2017. – С. 231-233. – EDN YQATKP.

3. Исследование прочностных характеристик детали, изготовленной методом селективного лазерного сплавления из сплава AlSi10Mg / Б. Е. Остроброд, А. Литюк, Т. Б. Гущина, О. Н. Иванов // Достижения современной науки и образования: сборник статей и тезисов докладов IV международной междисциплинарной конференции, Ставрополь, 18–19 мая 2018 года. – Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью «ЭльДирект», 2018. – С. 11-12. – EDN XSXEMP.

4. Караваев, А.К. Исследование структуры и свойств сплава AlSi10Mg, полученного методом селективного лазерного сплавления / А. К. Караваев, Ю. А. Пучков // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2020. – № 5(134). – С. 71-85. – DOI 10.18698/0236-3941-2020-5-71-85. – EDN MZEWKF.

5. Лебедкин, И.Ф. Практика подбора технологических параметров для процесса послойного лазерного сплавления / И. Ф. Лебедкин, А. А. Молотков, О. Н. Третьякова // Российская научно-техническая конференция с международным участием. Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике: Сборник докладов конференции, Москва, 11–12 апреля 2019 года. Том 2. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2019. – С. 309-313. – EDN SXPGDB.

УДК 621.79.01

Останин Юрий Альбертович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ostanin Yuri Albertovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бахматов Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология сварочного и металлургического производства имени 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

## **ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ВЛАГИ В ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЯХ**

### **THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE MOISTURE CONTENT OF ELECTRODE COATINGS**

Аннотация. Рассматривается влияние погодных условий на содержание влаги в электродных покрытиях. Проведен эксперимент по насыщению влагой покрытия электрода с последующим периодичным взвешиванием. Приводятся результаты эксперимента по насыщению влагой покрытия электрода, построены графики зависимости веса электрода от времени насыщения покрытия влагой. Приведены технологические рекомендации на основании результатов проведенного эксперимента, которые подтверждают важность контроля влажности при хранении электродов, необходимость правильной подготовки свариваемых деталей и выбора электрода для обеспечения качественной сварки.

Abstract. The influence of weather conditions on the moisture content in electrode coatings is considered. An experiment was carried out to saturate the electrode coating with moisture, followed by periodic weighing. The results of the experiment on moisture saturation of the electrode coating are presented, graphs of the dependence of the electrode weight on the time of moisture saturation of the coating are constructed. Technological recommendations are given based on the results of the experiment, which confirm the importance of humidity control during electrode storage, the need for proper preparation of the parts to be welded and the choice of an electrode to ensure high-quality welding.

Ключевые слова: покрытые электроды, насыщение влагой, стартовые поры

Key words: coated electrodes, moisture saturation, starting pores

#### **Введение**

Судостроение преимущественно осуществляется в непосредственной близости с морскими бассейнами, реках и каналах. Достройка судов зачастую происходит на открытых монтажных площадках, поэтому климатические условия, в которых происходит строительство металлических корпусных конструкций, способны влиять на качество сварных соединений, особенно выполняемых ручной дуговой сваркой покрытыми электродами.

В состав электродных покрытий входят измельченные порошкообразные компоненты и связующее вещество, наносимые на металлический стержень методом прессования, поэтому на поверхности электродов могут возникать микротрещины, способствующие конденсации капиллярной влаги, наличие которой вызывает вероятность поробразования в металле шва, особенно в начале формирования валика, поэтому этот эффект получил название «стартовые поры» [1-2].

Изучение влияния погодных условий на содержание влаги в электродных покрытиях позволяет разработать эффективные методы хранения и обработки электродов, чтобы предотвратить проникновение влаги и обеспечить оптимальные условия для сварки. Это также помогает улучшить безопасность и эффективность процесса сварки, а также снизить затраты на ремонт и замену поврежденных конструкций.

## Основная часть

Методика эксперимента с насыщением покрытого электрода влагой следующая:

1. *Подготовка электрода.* Перед началом эксперимента электроды трех марок (ESAB УОНИИ 13/55Р, ЛЭЗ УОНИИ 13/55, Golden Bridge J422 (MP-3)) [3-5], наиболее часто применяемых на заводе «Звезда», извлекаются из новой герметизированной упаковки и взвешиваются на весах REXANT 72-1002 по ГОСТ 9466-75 с точностью 0,01 г для определения их исходной массы.

2. *Насыщение электрода влагой.* Для насыщения влагой электроды помещаются в закрытое пространство с установленной влажностью воздуха (погрешность 5%). Для измерения влажности воздуха в процессе эксперимента используется метеостанция Oregon Scientific BAR806. Для воссоздания необходимой влажности в эксперименте используется увлажнитель воздуха DEXP HD-340. Общее время насыщения составляет 8 часов.

3. *Взвешивание электрода.* Периодичность взвешивания электродов каждые 2 часа.

4. *Анализ результатов.* Расчет процентного насыщения влагой электродного покрытия производился по формуле ГОСТ 9466-75:

$$B_{\text{п}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100,$$

где  $B_{\text{п}}$  – содержание влаги в покрытии, %;

$m_1$  – исходная масса покрытия, г;

$m_2$  – постоянная масса покрытия, г.

По результатам эксперимента построен график зависимости насыщенности покрытия электрода от влажности воздуха за время рабочей смены (8 часов). За реперные точки (50, 76, 87 %) взята влажность воздуха в г. Большой Камень Приморского края в сухом, умеренном и влажном сезоне, соответствующие статистическим данным за 2023 г [6].

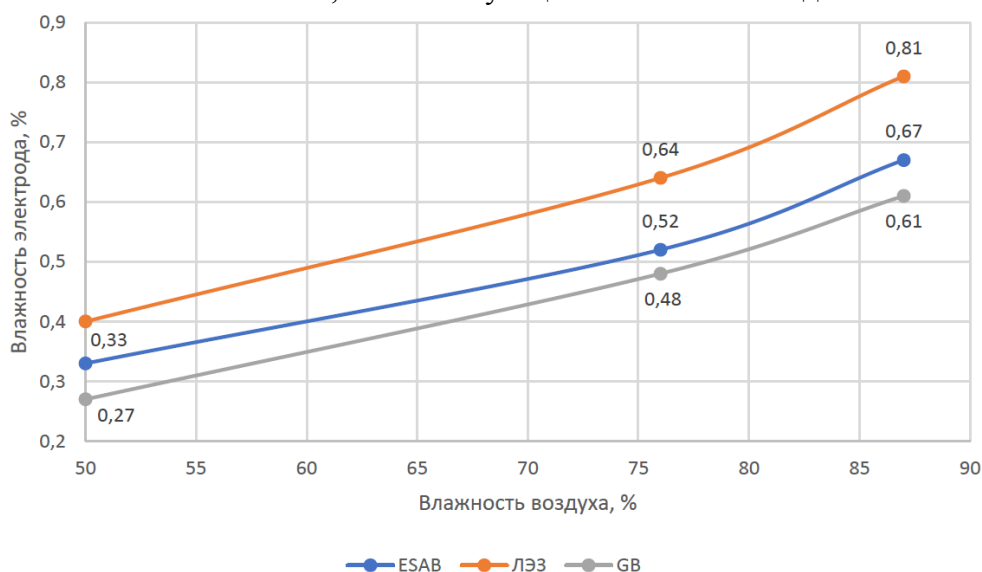


Рисунок 1 - Зависимость процентного насыщения покрытия электрода влагой от влажности воздуха за 8 часов

Из построенного графика (рисунок 1) видно, что наибольший процент насыщения приходится на электроды марки УОНИИ 13/55 с основным покрытием производителя ЛЭЗ, наименьший процент насыщения у электродов J422 с рутилово-основным покрытием производимые китайской компанией Golden Bridge.

Наименьший процент насыщения влагой электродов китайского производителя объясняется рутилово-основным покрытием. Рутилово-основное покрытие – это тип покрытия, который сочетает в себе свойства рутилового и основного покрытий. Рутилово-основное покрытие обеспечивает стабильное горение дуги в условиях повышенной влажности и хорошее формирование сварного шва, а основное покрытие обеспечивает высокую прочность и долговечность сварного шва.

## Заключение

На основании результатов эксперимента по насыщению влагой покрытия электрода можно сделать следующие выводы:

- влажность воздуха может оказывать значительное влияние на качество сварки, вызывая коррозию электродов, образование дефектов в сварном шве, искрение и другие проблемы;

- покрытие электрода может впитывать влагу из воздуха, что может привести к ухудшению свойств электрода и снижению качества сварки;

- влажность может вызвать искрение и даже привести к короткому замыканию, что может быть опасным для сварщика;

- важно хранить электроды в сухих и хорошо проветриваемых помещениях, а также проверять их на наличие влаги перед использованием;

- после насыщения электрода влагой его масса может увеличиться, что может быть связано с впитыванием влаги в покрытие электрода;

- после насыщения электрода влагой его свойства могут измениться, что может привести к снижению качества сварного шва и ухудшению его прочности;

- стартовые поры – это дефекты сварного шва, которые образуются в начале процесса сварки и могут быть вызваны различными факторами, такими как насыщение покрытия электрода влагой из-за неправильной упаковки электрода или нарушения правил правильного хранения;

- для предотвращения образования стартовых пор необходимо проводить прокатку и просушку электродов в соответствии с типом, маркой и рекомендациями производителя для этих электродов, правильную подготовку свариваемых деталей, выбрать подходящий электрод и параметры сварки, а также обеспечивать чистоту поверхности свариваемых деталей.

В целом, результаты эксперимента по насыщению влагой покрытия электрода подтверждают важность контроля влажности при хранении и сварке, правильной подготовки свариваемых деталей и выбора электрода для обеспечения качественной сварки.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Крюковский, Н. Н. Производство электродов для дуговой сварки / Н. Н. Крюковский. - 2-е. - Москва : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1956. - 277 с.

2. ГОСТ 9466-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия : межгосударственный стандарт : дата введения 1976-01-01 / Министерство тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения СССР. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 25 с.

3. Сварочное оборудование и материалы Esab // ESAB Russia : [сайт]. - URL: <https://www.esab.ru> (дата обращения: 09.01.2024).

4. ЛЭЗ УОНИ-13/55 - ООО ЛЭЗ Электроды для сварки, производство сварочных электродов // ООО ЛЭЗ Электроды для сварки, производство сварочных электродов : [сайт]. - URL: <http://www.electrode.ru/katalog-produktsii/product/view/1/17> (дата обращения: 18.01.2024).

5. J422(J40-50)-PRODUCTS // Golden Bridge : [сайт]. - URL: <https://en.tjgoldenbridge.com/products/product/uvview/700> (дата обращения: 18.01.2024).

6. Погода в Большом Камне по месяцам в 2023 году Приморский край – температура воздуха, скорость ветра, влажность // World-Weather.ru : [сайт]. - URL: [https://world-weather.ru/pogoda/russia/bolshoy\\_ka-men/2023/](https://world-weather.ru/pogoda/russia/bolshoy_ka-men/2023/) (дата обращения: 10.12.2023).

УДК 606-33

Отряскина Арина Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Otryaskina Arina Andreevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

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

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

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМА**

### **RECONSTRUCTION OF TANK FARMS TO INCREASE VOLUME**

Аннотация. В статье рассмотрен вариант увеличения объема резервуарного парка с помощью увеличения вместимости резервуаров. Для увеличения вместимости резервуарного парка можно использовать различные решения. Но время проведения капитального ремонта резервуаров есть возможность поставить на резервуар дополнительный пояс способом наращивания тем самым увеличить вместимость каждого резервуара в отдельности, а следовательно и всего резервуарного парка в целом.

Abstract. The article discusses the option of increasing the volume of the tank farm by increasing the capacity of the tanks. Various solutions can be used to increase the capacity of a tank farm. But during a major overhaul of tanks, it is possible to install an additional belt on the tank using an extension method, thereby increasing the capacity of each tank individually, and therefore the entire tank farm as a whole.

Ключевые слова: объем резервуара, методом подрачивания, гидравлических домкратов.  
Key words: tank volume, by the method of increment, hydraulic jacks.

#### **Введение**

Сегодня и в ближайшем будущем топливно-энергетический комплекс является залогом экономического развития нашей страны. Стабильная работа топливной промышленности невозможно без объектов хранения нефти и нефтепродуктов, являющимися резервуарами различного типа и конструкций. Нефтеперерабатывающая промышленность нуждается в увеличении объемов производства, что, в свою очередь, требует расширения резервуарных парков.

#### **Основная часть**

Рассмотрим вариант расширения объема резервуарного парка с помощью увеличения вместимости резервуаров. Для увеличения вместимости резервуарного парка можно использовать различные решения, устройство новых резервуаров, перестановку резервуаров на местности и т.д. Во время проведения капитального ремонта резервуаров расположенных на нефтеперерабатывающем заводе есть возможность поставить на резервуар дополнительный пояс способом наращивания тем самым увеличить вместимость каждого резервуара в отдельности, а следовательно и всего резервуарного парка в целом.

Данный метод актуален для резервуарных парков с ограниченной площадью и необходимостью нефтеперерабатывающего завода увеличение резервуарного парка наращивание намного выгоднее покупки и установки новой емкости, методом проращивания самый подходящий.

Объектом исследования является резервуар типа РВС с рабочим объемом 2000 м<sup>3</sup>. Изучены основные нормативные требования к конструкции и эксплуатации резервуара, а так же методы и способы улучшения эксплуатационных характеристик резервуара. Расчеты прочности и устойчивости резервуаров для хранения углеводородных продуктов проводились на примере РВСПК-2000 м<sup>3</sup>.

Техническое перевооружение резервуара проводится во время капитального ремонта. Это самое удобное время для оснащения резервуара всем необходимым оборудованием без лишних затрат денег и времени. Пока идет капитальный ремонт и замена

основных компонентов вертикальных стальных резервуаров РВС, можно легко провести реконструкцию, модернизацию и обновление резервуаров для хранения нефти.

### Технология методом полистового подращивания

Для увеличения объема резервуара методом подращивания выбираем метод с применением гидравлических домкратов(рис.1), что позволит обойтись без мощной грузоподъемной техники. Благодаря развитым современным технологиям уже существуют системы гидравлических домкратов, которые могут поднимать вес равный 250 т. На высоту около 2-ух метров.



Рисунок 1 – Пример подъема резервуара домкратами

Согласно ГОСТ Р 52910-2008 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов» для реконструкции резервуара и увеличения его объема необходимо рассчитать толщину стенки нового пояса.

Так же для подъема резервуара необходимо демонтировать днище резервуара, а следовательно смонтировать и рассчитать ребра жесткости внутри резервуара чтобы не допустить деформацию поясов. После подъема резервуара начнется монтаж листов для нового пояса. После выполнения сварочных работ нужно произвести монтаж днища к основанию и новому поясу, так же необходимо предусмотреть демонтажные работы ребер жесткости внутри резервуара.

К числу факторов, определяющих эффективность метода "прорастивания", относится то, что основная часть работ выполняется на уровне земли, что повышает производительность труда, улучшает качество работ, улучшает условия труда и обеспечивает безопасность работ. Этот метод подходит для строительства резервуаров большинства объемов.

Комплекс (рис. 2) включает в себя восемь стоечных гидравлических подъемных механизмов с внутренними гидроцилиндрами, лазерный датчик для определения перемещения штоков гидроцилиндров, восьми поточную насосную станцию для подачи и управления гидравлическим давлением в гидроцилиндры с системой синхронизации положения штоков гидроцилиндров, полный комплект намотанных шлангов высокого давления. Система включает в себя станцию и комплект шлангов высокого давления на катушке. Максимальный вес подъемной конструкции составляет 250 тонн, а высота перемещения секции оболочки-менее 2,4 метра.

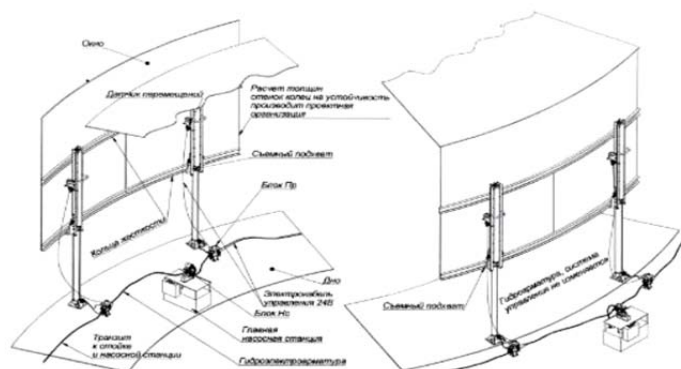


Рисунок 2 – Схема подъема резервуара.

Насосная станция гидроприводного комплекса 8ННН16-5,0И400Т1-СПС;  
- Стационарный пульт автоматического управления с управлением насосной станцией,

- Обратная связь по датчикам положения штока гидроцилиндра. Стойки системы могут быть установлены как внутри, так и с наружи резервуара. Стойки могут устанавливаться как с помощью технологических заглушек в корпусе резервуара, так и с помощью усиливающих колец в корпусе резервуара.

Время откачки до высоты 2,1 м зависит от количества стоек и производительности насосной станции. Для базовой системы с 15 стойками и производительностью насоса 5,0 л/мин время подъема на максимальную высоту составляет 55 минут.

Итоговая расчетная сумма реконструкции РВСПК составляет 11 235,79 тыс. руб. что в 2.5 раза ниже чем устройство нового резервуара тем же объемом

### **Заключение**

В данной работе представлен проект реконструкции промежуточного резервуарного нефтеперерабатывающего завода, проанализировав доступную литературу и генеральный план территории НПЗ был выбран актуальный на момент написания работы план реконструкции, а именно увеличение вместимости резервуара методом полистового подращивания.

Проведя исследования и анализ цен, можно сделать вывод о том, что устройство нового пояса резервуара в 2,5 раза ниже чем строительство нового резервуара большим объемом. Так же стоит отметить, что данный способ не только уменьшает материальные затраты но и позволяет рационально использовать территорию резервуарного парка НПЗ, минусом этого метода является высокая сложность проведения работ.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Сооружение и ремонт газонефтепроводов, газохранилищ и нефтебаз : Учебник для вузов по специальности "Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов, газохранилищ и нефтебаз" / Р. А. Алиев, И. В. Березина, Л. Г. Телегин, Е. И. Яковлев. – Москва : Издательство "Недра", 1987. – 271 с. – (Высшее образование). – EDN LIIGNX.

2. Домкратные стойки для монтажа резервуаров полистовой сборки// "Энерпром" - производство гидравлического оборудования и инструмента [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.enerprom.net/catalog/domkratnye-stoyki-dlya-montazha-rezervuarov-polistovoy-sbornki/> (дата обращения: 31.03.2024).

3. Нехаев, Г.А. Расчёт стенки стального резервуара на воздействие бегущих волн / Г.А. Нехаев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – № 1-2. – С. 82-88. – EDN KGLNWR. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: Учеб. пособие для ВУЗов / Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А. и др. - Уфа: «ДизайнПолиграфСервис», 2002. - 658 с.

4. Инновационные методы сооружения резервуаров для хранения опасных веществ / Х. М. Ханухов, Н. В. Четвертухин, В. А. Функ [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2020. – № 5(234). – С. 33-37. – EDN TZWNNT.

5. Горьковенко, В.А. Анализ проблем, возникающих в процессе возведения стальных цилиндрических промышленных резервуаров объемом от 100 до 50 000 м<sup>3</sup> / В.А. Горьковенко // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации : Материалы Международной научно-практической конференции: Электронный ресурс, Омск, 07–09 декабря 2016 года. – Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2016. – С. 144-147. – EDN XSRJNJ.

УДК 621.01.

Павловская Дарья Алексеевна, студентка; Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pavlovskaya Daria Alekseevna, student; Komsomolsk-na-Amure State University

Отряскина Татьяна Александровна, к.т.н., доцент; Комсомольский-на-Амуре государственный университет.

Otryaskina Tatyana Alexandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Komsomolsk-na-Amure State University.

## ЗАЩИТА КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ СЖИГАНИИ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ

## PROTECTION OF BOILER EQUIPMENT WHEN BURNING SULFUR-CONTAINING GASES

Аннотация. В данной статье описаны виды коррозии и меры борьбы с ними. Наличие низкотемпературной коррозии может серьезно повлиять на эксплуатационную надежность последней теплообменной поверхности (воздухоподогревателя) и всего оборудования. Модернизация работы котельной, в частности, использование тепла отходящих газов для подогрева доменного воздуха, теплоснабжающих предприятий, в том числе котельных. Разработанная схема позволяет проследить всю цепочку необходимых действий, начиная от состава топлива и заканчивая выбором основных параметров предлагаемой методики. В статье рассматривается возможность утилизации тепла уходящих газов, что позволяет не только повысить эффективность работы котельных, но и снизить тепловое загрязнение окружающей среды, уменьшить коррозионность оборудования

Abstract. This section provides an overview of the various types of corrosion and strategies to combat them. Low-temperature corrosion significantly impacts the operation of air heaters, which serve as the final heat exchange surface for gas flow in a boiler plant, thus influencing the overall reliability of the system. The upgrade of the boiler room has proven to be highly effective in harnessing heat from exhaust gases to warm the air in the blast fan. Research has demonstrated that industries release heat, including within boiler rooms. A developed methodology enables the comprehensive tracking of necessary steps, starting from fuel composition and concluding with the selection of key parameters for the proposed approach. The study explores the potential for recovering heat from flue gases, which not only enhances the efficiency of the boiler room but also minimizes thermal pollution in the environment.

Ключевые слова: коррозия, тепловые энергоустановки, агрессивные сернистые вещества.

Keywords: corrosion, boiler equipment, aggressive sulfur substances.

### Введение

При сжигании топлива, содержащего серу, сера полностью сгорает в топке, что приводит к образованию  $SO_2$  в процессе теплообмена. Количество  $SO_2$  легко определяется и практически не зависит от режима работы котла. На тепловых электростанциях используются методы контроля выбросов  $SO_2$ , основанные на мониторинге содержания серы в топливе с помощью надежных приборов. Оксиды серы, включая небольшое количество триоксида серы при высоких температурах котла, являются не только загрязнителями воздуха, но и причиной сернокислотной коррозии при низких температурах. Большая часть  $SO_3$  образуется в зоне пламени и зависит от содержания серы в топливе, а избыточная концентрация  $SO_3$  обусловлена количеством серы и долей воздуха в топке. Для предотвращения коррозии реко-



Рисунок 1 – Схема расположения оборудования



мендуется сжигать топливо с минимальным избытком воздуха, что может быть сложно на котле, работающем на смеси топлив [1-5].

Подготовка: процесс абсорбции в абсорбционной башне, частичное поглощение углеводородов. Воздух с высоким содержанием углеводородов поступает через вентилятор (1) в нижнюю часть колонного аппарата - абсорбционную башню (2). Во время работы абсорбционная башня орошается конденсированными жидкими углеводородами. Охлажденный конденсат циркулирует через пластинчатый теплообменник для повышения эффективности поглощения. Охлаждающая вода (гликоль) вторичного контура теплообменника охлаждается холодильной установкой (3). Газ, проходящий через абсорбер, охлаждается, и большая часть тяжелых углеводородов отделяется. Собранный жидкий компонент сливается в резервуар (4) для хранения. Охлажденный газ направляется в блок каталитического окисления для дальнейшей обработки.

Основной этап: процесс сжигания и очистка с помощью катализатора. Катализаторный блок (5) подвергается предварительному нагреванию до достижения температуры активации, процесс осуществляется с применением нагревательных элементов, которые отключаются при переходе установки в рабочий режим. Рециркуляция тепла отходящих газов поддерживает необходимую рабочую температуру в поступающих газах. Вентилятор (6) используется для добавления атмосферного воздуха для поддержания температуры и концентрации окислителя в установке. Органические вещества подвергаются окислению до безопасных диоксида углерода и воды в присутствии платинового катализатора (5). Очищенный газ охлаждается в теплообменнике (7) с помощью приточного воздуха и затем выбрасывается в атмосферу. Этот метод обеспечивает эффективную очистку дымовых газов от оксидов серы до 95%. Он также позволяет практически полностью удалять SO<sub>3</sub>, что снижает риск низкотемпературной коррозии и повышает КПД котла.

#### **Заключение**

В ходе данного исследования проведена аналитика системы каталитической очистки топливного газа, изучена автоматизированная технологическая система процесса, подобрано оптимальное оборудование и проведен расчет потенциальной экономической выгоды. Разработанные рекомендации позволяют снизить или устранить проблему превышения допустимых концентраций оксидов серы в дымовых газах котлов, а также уменьшить зависимость от импортного оборудования.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Промышленная теплоэнергетика" / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев ; Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев. – Изд. 4-е, репр. – Москва : Бастет, 2009. – ISBN 978-5-903178-13-1. – EDN QMKLAZ.

2. Авторское свидетельство № 1298481 А1 СССР, МПК F23C 6/02. Топка котла : № 3847130 : заявл. 03.12.1984 : опубл. 23.03.1987 / А. Н. Штым, В. А. Рудницкий ; заявитель ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ.В.В.КУЙБЫШЕВА. – EDN TXINCG.

3. Москвин, Л. Н. Защитное окислирование поверхностей нагрева котельного оборудования с одновременным удалением золовых отложений / Л. Н. Москвин, А. А. Ефимов, Б. А. Гусев // Теплоэнергетика. – 2020. – № 3. – С. 33-38. – DOI 10.1134/S0040363620030042. – EDN HGEGPI.

4. Коротков, К. Е. Влияние изменения режимов работы оборудования теплоснабжения и котельного оборудования на эффективность ингибиторов коррозии / К. Е. Коротков, А. Г. Сагадеев, О. Р. Латыпов // Современные технологии: достижения и инновации-2020 : Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции, Стерлитамак, 25 марта 2020 года. – Стерлитамак: Нефтегазовое дело, 2020. – С. 205-206. – EDN WJZZPE.

5. Баканов, М. О. Оценка параметров аварийной ситуации при эксплуатации котельного оборудования / М. О. Баканов, А. В. Антипов // Аллея науки. – 2018. – Т. 4, № 11(27). – С. 804-808. – EDN PWTEID.

УДК 621.9.05

Панфилова Татьяна Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Panfilova Tatyana Sergeevna, student of 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

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ КРОНШТЕЙН С ПОМОЩЬЮ САМ-СИСТЕМЫ**

### **CHOOSING THE OPTIMAL PART HANDLING STRATEGY BRACKET USING CAM SYSTEM**

Аннотация. В работе проведено сравнение двух схем обработки фрезерованием открытых пазов на станках с ЧПУ, выполненное на примере детали «кронштейн» путем симуляции обработки в модуле «Обработка» системы САПР Siemens NX. Исследование показало, что при одинаковом режиме обработки более производительной является обработка дисковой фрезой за счет более прямолинейной траектории движения.

Abstract. The work compares two processing schemes for milling open slots on CNC machines, performed using the example of a “bracket” part by simulating processing in the “Processing” module of the Siemens NX CAD system. The study showed that with the same processing mode, processing with a disk cutter is more productive due to a more linear trajectory of movement.

Ключевые слова: обработка, САМ-система, траектория, паз, фрезерование.

Key words: processing, CAM system, trajectory, groove, milling.

#### **Введение**

В настоящее время большое внимание уделяется интенсификации производства. В металлообрабатывающем производстве достичь повышения производительности путем сокращения основного и вспомогательного времени обработки. Сокращение основного времени обработки происходит за счет повышения скорости обработки и выбора оптимальной траектории движения инструмента вдоль обрабатываемой заготовки [1].

Для выбора оптимальной схемы обработки используются САМ-модули инженерных систем автоматизированного проектирования. Применяемые в настоящее время системы САПР содержат широкий арсенал средств моделирования различных стратегий обработки, позволяющих оценить время выполнения рабочих и холостых ходов инструмента [2-5].

Целью данной работы является исследование различных схем обработки фрезерованием открытых пазов на станках с ЧПУ для выбора наиболее производительной.

Исследование выполнялось на примере детали «кронштейн» путем моделирования обработки. Для проведения данного исследования в работе был использован модуль «Обработка» системы САПР Siemens NX.

#### **Основная часть**

На рисунке 1 показана 3D-модель детали «кронштейн». Обработке подвергается открытый паз шириной 22 мм и глубиной 21 мм. Радиус сопряжения торцевой и боковых плоскостей паза составляет 2 мм.

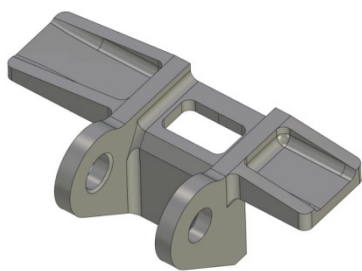


Рисунок 1 –  
Обрабатываемая деталь

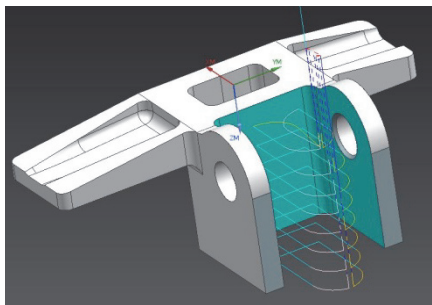


Рисунок 2 – Траектория  
движения инструмента  
для первого варианта  
обработки паза

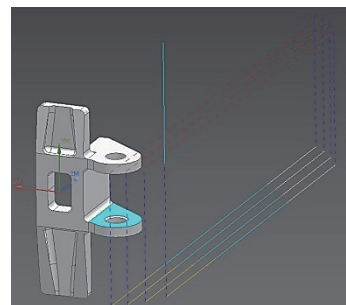


Рисунок 3 – Траектория  
движения инструмента  
для второго варианта  
обработки паза

Рассмотрены 2 варианта обработки паза: 1) обработка монолитной твердосплавной концевой фрезой с подачей вдоль оси паза; 2) обработка дисковой фрезой. В соответствии с материалом детали и выбором оптимальных режимов резания для фрезерования паза были выбраны концевая фреза MT190VBE-012Z12R03-26-H055-L100-r20-Al-DV2 DLC и дисковая трехсторонняя фреза MT390-100S32N03SO12-22. Скорость резания и подача на зуб в обоих вариантах одинаковые.

На рисунке 2, приведена сгенерированная в САМ модуле траектория движения концевой фрезы. Суммарное расчетное время обработки паза составляет 20 секунд.

На рисунке 3, приведена сгенерированная траектория движения дисковой фрезы. Суммарное расчетное время обработки паза составляет 10 секунд.

Анализируя результаты моделирования траекторий движения двух инструментов видно, что во втором варианте инструмент движется по прямолинейной траектории. Обработка дисковой фрезой при одинаковом режиме обработки более производительна. Дисковая фреза имеет большее количество зубьев, что позволяет повысить минутную подачу, а тем самым и производительность. Однако, стоимость ее выше чем стоимость концевой фрезы. К тому же концевая фреза может использоваться для обработки других элементов детали – пазов и боковых поверхностей.

### **Заключение**

В работе проведено сравнение двух схем обработки фрезерованием открытых пазов на станках с ЧПУ, выполненное на примере детали «кронштейн» путем моделирования обработки. Для проведения данного исследования в работе был использован модуль «Обработка» системы САПР Siemens NX. Исследование показало, что при одинаковом режиме обработки более производительной является обработка дисковой фрезой за счет более прямолинейной траектории движения.

Преимуществом обработки концевой фрезой является более низкая стоимость и то, что она может использоваться для обработки большинства элементов детали.

### **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. Кононенко, Р. С. Системы автоматизированного проектирования для машиностроения / Р. С. Кононенко, Е. Б. Щелкунов // 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. 35-37. – EDN WESEMR.

3. 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.

4. Ведмидь, П.А. Программирование обработки в NX CAM / П. А. Ведмидь, А. В. Сулинов. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 303 с.

5. Данилов, Ю. Практическое использование NX / Ю. Данилов, И. Артамонов. – Москва : ДМК Пресс, 2011. - 332 с.

6. 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 / Редакция: 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 621.791.722

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, Department of "Technology of welding and metallurgical production named after V.I. Muravyov", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛИ «ШПАНГОУТ»**

### **INVESTIGATION OF THE CAUSES OF DEFECTS IN ELECTRON BEAM WELDING AND HEAT TREATMENT OF THE "FRAME" PART**

Аннотация. В настоящей работе представлен анализ технологического процесса изготовления детали «шпангоут» из сплава ВТ23. Проведен анализ характерных дефектов после электронно-лучевой сварки и термической обработки. Установлено, что доминирующими дефектами сварных соединений являются цепочки пор и непровары, а после термической обработки наблюдается снижение предела прочности, не удовлетворяющего требованиям нормативно-технической документации. В качестве мер повышения качества производимой детали предложен способ высокопроизводительной механической обработки, осцилляции электронного луча и термической обработки в условиях фазового преобразования.

Abstract. This paper presents an analysis of the manufacturing process of the "frame" part made of VT23 alloy. The analysis of characteristic defects after electron beam welding and

heat treatment is carried out. It has been established that the dominant defects of welded joints are pore chains and non-welding, and after thermal treatment, there is a decrease in the tensile strength that does not meet the requirements of regulatory and technical documentation. As measures to improve the quality of the manufactured part, a method of high-performance machining, electron beam oscillation and heat treatment under conditions of phase pre-rotation is proposed.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, термическая обработка, дефекты, технологический процесс, фрезерование

Key words: electron beam welding, heat treatment, defects, technological process, milling

## Введение

Шпангоут – это элемент конструкции самолёта, который выполнен в виде профиля в форме кольца или овала. Шпангоуты крепятся к продольным балкам и сохраняют целостность поперечного сечения фюзеляжа, не позволяя ему разрушиться во время полёта. В настоящей работе будет рассмотрен технологический процесс изготовления шпангоута из титанового сплава ВТ23 электронно-лучевой сваркой и последующей термической обработкой, а также рассмотрены проблемы его производства и предложены варианты по их решению.

## Основная часть

Рассматриваемый шпангоут состоит из центральной части, арки, стыкового узла, фитинга и соединяется при помощи электронно-лучевой сварки (рисунок 1).

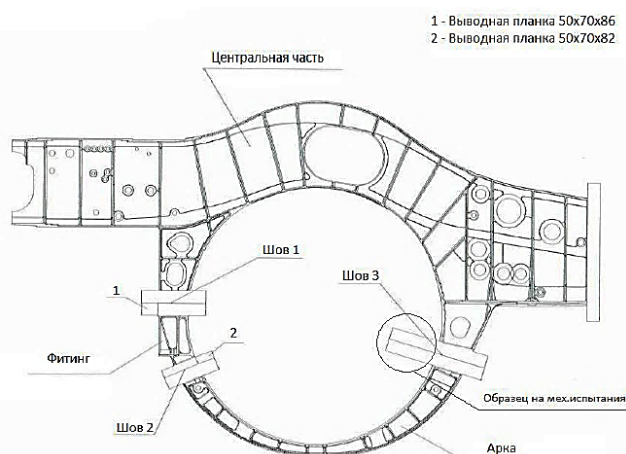


Рисунок 1 – Рассматриваемый шпангоут из сплава ВТ23

При производстве шпангоута применяются такие операции как: фрезерование, подготовка стыков к сварке пневмо-дрелью, обезжиривание и обезвоживание ацетоном и спиртом, прихватка вводных и выводных планок, электронно-лучевая сварка, рентгенографический контроль, термическая обработка.

В связи с повышенной дефектностью рассматриваемого шпангоута произведено исследование основных технологических операций: фрезерование, электронно-лучевая сварка и термическая обработка.

Для изучения причин образования дефектов произведен анализ дефектов сварных соединений за 2023 год 16 шпангоутов (рисунок 2).

Исходя из представленной статистики, можно отметить, что самым частым дефектом при сварке данной детали является непровар и цепочка пор. Таким образом, учитывая, что режим сварки не меняется, то деталь поступает на сварку после фрезерования с неудовлетворительным допуском, что приводит к превышению зазора более чем  $0^{+0,2}$ , не соответствующим значению в технической документации. Примечательно, что только в 1 детали из 16 проанализированных во время контроля не выявлено ни одного дефекта.

При термической обработке частым явлением бывает коробление и поводки, они происходят по причине:

1. Неравномерности нагрева и охлаждения при загрузке и выгрузке деталей, полуфабрикатов при рабочей температуре;
2. Неодинаковой температуры в различных зонах печи;
3. Деформации детали, полуфабрикатов под действием собственного веса;
4. Неправильного выбора оснастки, не учитывающей термическое расширение деталей;
5. Наличия больших и неравномерно распределенных напряжений в детали или узле;
6. Фазовых превращений.

Основной же проблемой термической обработки ВТ23 является вероятность пониженного предела прочности, меньше, чем требуемое значение (1078-1225 МПа или 110-125 кгс/мм<sup>2</sup>). В таком случае назначается дополнительная операция термообработки с индивидуальным режимом в зависимости от назначения.

Для борьбы с порообразованием возможно применение высокопроизводительной механической обработки стыкуемых кромок, но представленные в работе [1] режимы не пригодны для сплава ВТ23. В качестве меры повышения вероятности провара и дополнительной меры снижения порообразования за счет перемешивания сварочной ванны возможно применение осцилляции электронного луча [2-4], но данный технологический прием на заводе-изготовителе шпангоута не исследован и не применяется. Для повышения предела прочности сварных соединений титанового сплава ВТ23 возможно использование термической обработки в условиях фазового предпревращения. Способ, представленный в работе [5] позволил повысить предел прочности титанового сплава ВТ20 до параметров удовлетворяющих требованиям нормативно-технической документации.

### Заключение

Перспективой дальнейшей работы является исследование влияния термической обработки токами высокой частоты на свойства сварных соединений титановых сплавов, с целью обеспечения требуемого нормативно-технической документации предела прочности сварных соединений титановых сплавов ВТ20 и ВТ23.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьев, В. В. Обеспечение качества сварных соединений деталей летательных аппаратов, выполненных электронно-лучевой сваркой, за счет использования высокопроизводительной механической обработки / В. В. Григорьев, П. В. Бахматов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2024. – Т. 20, № 1(229). – С. 14-19. – DOI 10.36652/1813-1336-2024-20-1-14-19. – EDN WNIQML.
2. Ольшанская, Т. В. Обзор современных способов управления электронным лучом при электронно-лучевой сварке / Т. В. Ольшанская, Е. С. Саломатова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2016. – Т. 18, № 4. – С. 169-187.
3. Тепловые модели при электронно-лучевой сварке различным динамическим позиционированием луча, полученные при решении методом функций Грина / Т. В. Ольшанская, Е. М. Федосеева, Е. С. Саломатова [и др.] // Электронно-лучевая сварка и смежные технологии : Сборник материалов и докладов Второй международной конфе-

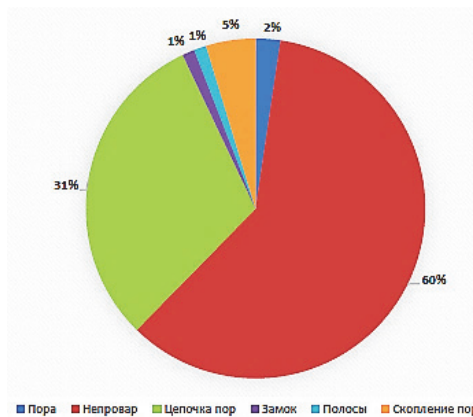


Рисунок 2 – Процентная статистика дефектов на всех участках сварных соединений

ренции, Москва, 14–17 ноября 2017 года. – Москва: Национальный исследовательский университет "МЭИ", 2017. – С. 60-81.

4. Влияние параметров режимов сварки на изменения химического состава сварных соединений при электронно-лучевой сварке с осцилляцией электронного луча / Е. С. Саломатова, Т. В. Ольшанская, Д. Н. Трушников [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2015. – Т. 17. – № 4. – С. 29-42.

5. Григорьев, В. В. Влияние режимов термической обработки в условиях фазового превращения на структуру и свойства сварных соединений из титанового сплава, выполненных электронно-лучевой сваркой / В. В. Григорьев, П. В. Бахматов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2023. – № 12(822). – С. 37-44. – DOI 10.30906/mitom-2023-12-37-44. – EDN BHODJY.

УДК 621.64/.69

Рак Дмитрий Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Rak Dmitry Alexandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бахматов Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология сварочного и металлургического производства имени 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 ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **FEATURES OF MANUFACTURING OF TECHNOLOGICAL PIPELINES OF OIL REFINING PRODUCTION**

Аннотация. В работе описаны особенности изготовления технологических трубопроводов нефтеперерабатывающего производства. Показан приоритет применения ручной дуговой сварки, объясняемый простотой и мобильностью применяемого оборудования, возможностью выполнения сварки в различных пространственных положениях и в местах, труднодоступных для механизированных способов сварки. При выполнении работы рассмотрено влияние кавитации на разрушение трубопроводов. Произведен расчет возможности возникновения кавитации при различных геометрических параметрах корневого валика шва с помощью калькулятора кавитации. Предложены средства формирования корневого валика с заданными геометрическими параметрами.

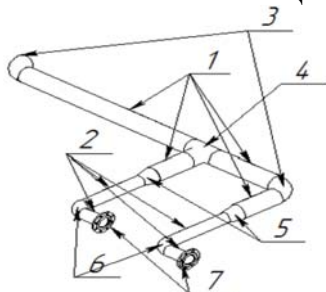
Abstract. The paper describes the features of manufacturing technological pipelines of oil refining production. The priority of using manual arc welding is shown, explained by the simplicity and mobility of the equipment used, the possibility of welding in various spatial positions and in places difficult to access for mechanized welding methods. When performing the work, the effect of cavitation on the destruction of pipelines is considered. The calculation of the possibility of cavitation at various geometric parameters of the root roller of the seam using a cavitation calculator was performed. The means of forming a root roller with specified geometric parameters are proposed.

Ключевые слова: технологический трубопровод, корневой валик, параметры шва, кавитационное разрушение, средства устранения кавитации.

Key words: process pipeline, root roller, seam parameters, cavitation failure, means of eliminating cavitation.

## Введение

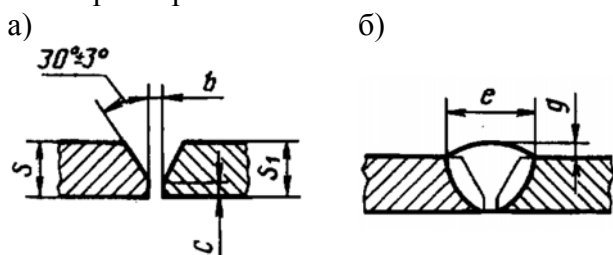
Нефтеперерабатывающее производство представляет собой множество систем и аппаратов, связанных между собой развитой сетью технологических трубопроводов, преимущественно стальных, состоящих из множества различных элементов: труб, отводов, тройников, фланцев (рисунок 1). Строительство трубопроводов осуществляется посредством дуговой сварки [1]. Существует ряд нормативных документов, регламентирующих процедуру создания неразъемных соединений, типы и размеры сварных швов, основными являются: СТ ЦКБА 025-2006, ГОСТ 32569-2013, ГОСТ 16037-80.



- 1 - труба 159-6 мм;
- 2 - труба 108-6 мм;
- 3 - отвод 90 градусов 159- 6 мм;
- 4 - тройник 159-6 мм;
- 5 - переход 159-108 – 6 мм;
- 6 - отвод 90 гр. 108- 6 мм;
- 7 - фланец 1-100-16

Рисунок 1 – Технологический трубопровод

Как видно из рисунка 1 в трубопроводах преобладают стыковые соединения. Основной тип сварных стыковых соединений, назначаемый конструкторской документацией С17 по ГОСТ 16037-80 (рисунок 2) не регламентирующий геометрические параметры корневого валика шва. Анализ другой нормативно-технической документации так же не дал дополнительной информации в отношении этих параметров.



- $S; S_1$  – толщины стенок свариваемых кромок,
- $b$  – зазор между кромками свариваемых деталей после прихватки,
- $c$  – притупление кромки,
- $e$  – ширина сварного шва,
- $g$  – выпуклость сварного шва.

Рисунок 2 – Параметры соединения С17 до (а) и после (б) сварки, нормируемые ГОСТ 16037-80

Превышение геометрических параметров корневого валика приводят к уменьшению проходного сечения трубопровода, что вызывает увеличение скорости потока продукта и снижение давления после препятствия (рисунок 3,а), что является причиной возникновения кавитации - образования мелких пузырьков (соизмеримых с размером зерна трубы) с высокой внутренней кинетической энергией [2-3]. С последующим ростом давления и скорости потока пузырьки всхлопываются, выделяя лучистую энергию, способную отделить зерно от стенки трубы. Постоянное действие кавитационных пузырьков способно вызвать разрушение трубопроводов (рисунок 3, б), выход продукта за пределы трубы и возникновение пожара.

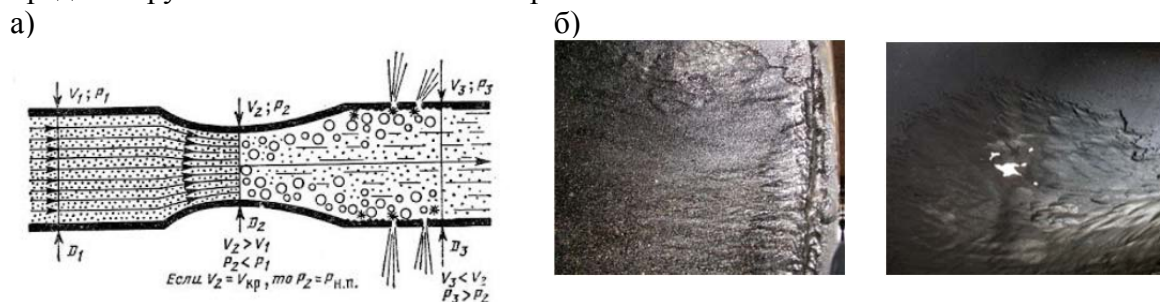


Рисунок 3 - Гидродинамическая кавитация (а) и последствия ее возникновения в технологических трубопроводах (б)



Применение регулярной ультразвуковой толщинометрии стенок трубопроводов не гарантирует объективности контроля, так как кавитационные разрушения могут носить очаговый характер. Поэтому изыскание способов и средств предупреждения и недопущения возникновения вероятности кавитации в технологических трубопроводах нефтеперерабатывающего оборудования является весьма актуальной задачей.

### Основная часть

Решением вышеописанной проблемы может служить разработанный на кафедре ТСМП им. В.И. Муравьева калькулятор расчета вероятности возникновения кавитации, в основу которого заложен алгоритм, учитывающий характеристики потока и геометрические параметры корневого валика шва (рисунок 4).

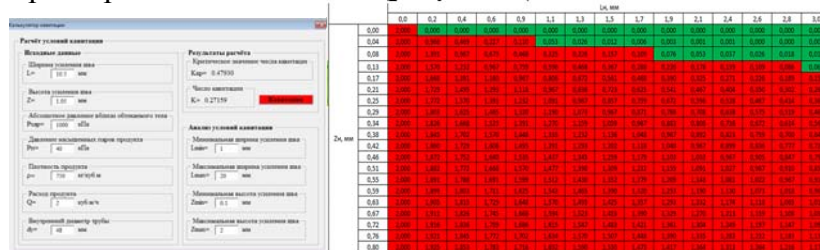
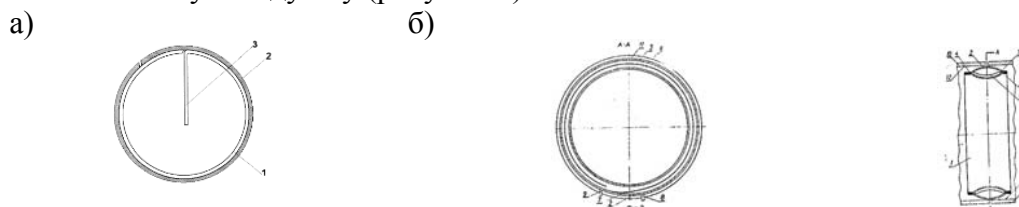


Рисунок 4 – Калькулятор расчета возникновения кавитации

Калькулятор может быть применен для расчета вероятности возникновения кавитации в технологических трубопроводах различного назначения (авиационные, судовые, оборудования нефтепереработки, нефтехимии, пищевой промышленности) в двух случаях:

- при конструировании линии трубопровода, ограничивая геометрические параметры усиления корневого валика требованиями конструкторской документации;
- при проведении контроля уже созданных сварных соединений трубопровода, определяя возможность кавитации от измеренных геометрических параметров корневого валика шва.

Кроме этого следует использовать при сварке устройства, формирующие требуемую геометрию обратного валика [5]: подкладное кольцо с функцией удаления или пневматическую подушку (рисунок 5).



- 1 – металлическое кольцо; 2 – расплавляемая вставка; 3 – рычаг
- 1 – пружинящее кольцо; 2, 3 – медная лента; 4, 5 – кромка; 6 - пружинящая разрезная медная лента; 8 – подводный патрубков; 9 – отводящий патрубков; 10, 11 - свариваемое изделие; 12, 13 – внутренняя поверхность изделия

Рисунок 5 - Удаляемые формирующие устройства а - подкладное кольцо; б - пневматическая подушка

### Заключение

Возникновение кавитации носит вероятностный характер и во многом зависит от характеристики потока продукта и геометрических параметров корневого валика сварных соединений. Выявлять вероятность кавитации возможно на стадии проектирования линий, а устранять на этапе изготовления технологического трубопровода применением формирующих устройств.

### Благодарности.

Научно-исследовательские работы выполнены за счёт средств ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (НИР № ВН001/2023 «Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочного/наплавочного валика (в том числе и в применении аддитивных технологий) на установке автоматической сварки в защитных газах»).

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фарамазов, С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов: учебник для техникумов. 3-е изд. перераб. и доп. – Москва : Химия 1988. - 304 с.
2. Смородов, Е. А. Физика и химия кавитации : монография / Е. А. Смородов, Р. Н. Галиахметов, М. А. Ильгамов ; Е. А. Смородов, Р. Н. Галиахметов, М. А. Ильгамов ; Российская акад. наук, Уфимский науч. центр, Ин-т механики. – Москва : Наука, 2008. – ISBN 978-5-02-036626-8. – EDN QJTQOZ.
3. Богачев И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы. Москва : Металлургия, 1972. - 192 с.
4. Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочно-наплавочного валика, в том числе и в применении аддитивных технологий, на установке автоматической сварки в защитных газах : монография / П. В. Бахматов, А. В. Фролов, А. С. Кравченко [и др.] ; под общ. ред. П. В. Бахматова. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2024. – 185 с. ISBN 978-5-7765-1562-0
5. Гладков, Э. А. Автоматизация сварочных процессов / Э. А. Гладков, В. Н. Бродягин, Р. А. Перковский. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2014. – 424 с. – ISBN 978-5-7038-3861-7. – EDN VCPWKJ.

УДК 621.791

Сафонов Глеб Данилович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Safonov Gleb Daniilovich, student, Komsomolsk-on-Amur 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-on-Amur State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ И ПАРАМЕТРОВ ПОДДУВА НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШВА**

### **INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE MEDIUM AND BLOWDOWN PARAMETERS ON THE GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE SEAM**

Аннотация. В работе представлены наблюдения и анализ изготовления труб с использованием различных методов поддува защитного газа в корень шва. Проведен анализ характерных дефектов сварки труб. Установлены основные дефекты сварных соединений: поры и непровары в частности в корне шва. Анализируя процесс выполнения сварки выявлено применение некачественных методов газового поддува. В качестве мер повышения качества сварных соединений деталей предложено использовать надежную схему поддува защитного газа, применять автоматическую сварку ввиду отсутствия необходимости останавливать сварку для перемещения детали.

Abstract. The work presents observations and analysis of pipe manufacturing using various methods of blowing protective gas into the root of the seam. The analysis of typical pipe welding defects has been carried out. The main defects of welded joints have been identified: pores and non-seams, in particular, in the root of the seam. Analyzing the welding process, the use of low-quality gas blowing methods was revealed. As measures to improve the quality of welded joints of parts, it is proposed to use a reliable protective gas blowing scheme, apply automatic welding due to the absence of the need to stop welding to move the part.

Ключевые слова: аргоно-дуговая сварка, поддув защитного газа, геометрические характеристики шва

Key words: argon arc welding, protective gas blowing, geometric characteristics of the seam

## Введение

В процессе формирования сварного соединения при аргонно-дуговой сварке труб из нержавеющей стали для обеспечения защиты корня шва необходимо применение поддува газа. Режим подачи газа и метод использования значительно влияет на формы самого сварного шва. Рассматриваемые трубопроводы выполняются согласно производственным инструкциям [1, 2] и контролируются радиографическим методом [3, 4].

## Наблюдения

В ходе наблюдений выявлены несколько используемых схем поддува каждая из которых имеет свои особенности и недостатки.

Первая схема поддува состоит из специального приспособления в виде полого цилиндра с множеством отверстий для выхода газа и перчатки которой закрывается выходное отверстие (рисунок 1).

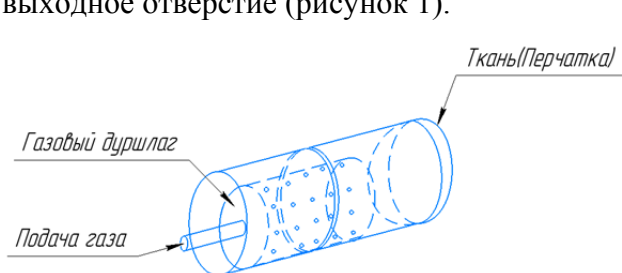


Рисунок 1 – Подача газа через газовый дуршлаг

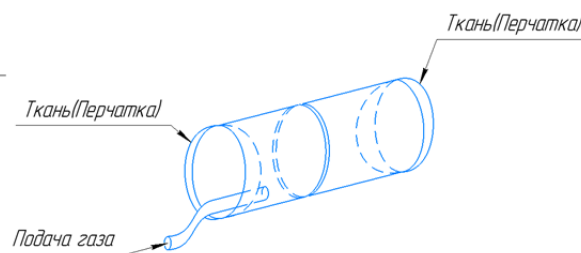


Рисунок 2 – Подача газа напрямую

Во второй схеме шланг подачи газа фиксируется при помощи рабочих перчаток прямо в трубе, а выходное отверстие также закрывается при помощи перчатки (рисунок 2).

## Основная часть

Рассматриваемые трубы имеют малую толщину. По этой причине расплавленный металл в сварочной ванне имеет малый вес в следствии чего силы, возникающие в процессе поддува в достаточной мере, воздействуют на итоговую форму застывшего металла.

Анализ использования газового дуршлага:

- При использовании данной схемы наблюдалось провисание сварочного валика. Причиной тому является то что давление в данной схеме не контролируется.

- В следствии не герметичности данной схемы происходит не полное заполнение газом внутренней полости трубы, и небольшая часть воздуха продолжает контактировать с расплавленным металлом из-за чего появляются так называемые «ёжики» что определенно является дефектом

- Для того чтобы обеспечить достаточную защиту шва и вытеснить воздух из полости сварщик использует максимальный поток газа из баллона выкручивая его до предела. Это экономически не эффективно.

Анализ использования подачи газа напрямую:

Во второй схеме создается необходимое давление внутри трубы за счет выставления расхода газа. Однако его регулировка невозможна в процессе сварки. Поэтому газ, которому выйти в конце сварки выдавливает металл сварочной ванны. Создается превышение усиления шва, а также дефицит металла в корне. Ещё одним характерным дефектом в данном случае является кратер либо пора в месте конца сварки.

На рисунке 3 представлен эскиз схемы поддува газа который бы обеспечил нужную атмосферу внутри трубы. Клапан регулятор может стоять как на входе, так и на выходе.

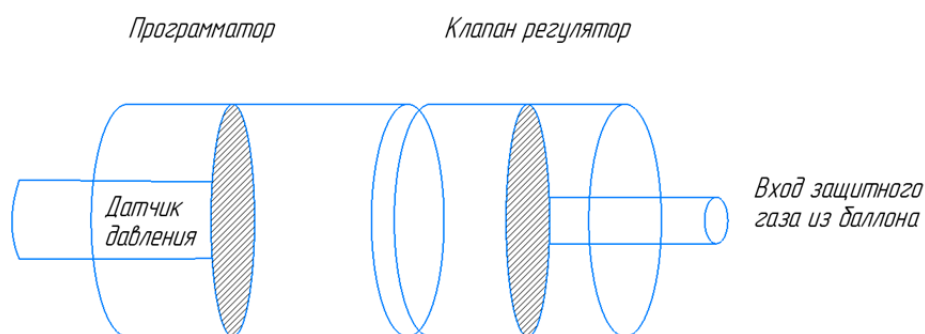


Рисунок 3 – Схема программируемого регулирования поддува

Для предотвращения появления деформаций и хорошего формирования шва следует применять более надежную схему поддува газа; тщательно подходить к регулировке давления, а именно, его плавное уменьшение под конец сварки; применять автоматическую сварку с ее преимуществом перед ручной ввиду отсутствия необходимости останавливать процесс сварки для перемещения детали [5].

### **Заключение**

В ходе исследования проведен анализ изготовления труб из нержавеющей стали. Основными причинами появления неправильных форм является применение не надежного поддува защитного газа либо его отсутствие; ошибки сварщика, связанные с выставлением режима поддува, вынужденными остановками в процессе сварки.

Для устранения проблем производства и повышения качества сварных соединений предложено обеспечивать должную газовую защиту сварного шва и использовать автоматическую сварку, которая может обеспечить стабильность заданных параметров и непрерывность процесса, что может позволить снизить вероятность появления деформаций и дефектов.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. ПИ 1.4.75-2000 Дуговая сварка в среде защитных газов конструкционных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов : производственная инструкция : утверждена и зарегистрирована ПК10 : введена впервые : дата введения 2001-01-01 / разработана ИПК ОАО Научно-исследовательским институтом технологии и организации производства, 2000. – 115 с.
2. ПИ 1.4.748-1980 Дуговая сварка трубопроводов из нержавеющей сталей в среде инертных газов : производственная инструкция : утверждена и зарегистрирована ПК10 : введена впервые : дата введения 1981-01-01 / разработана ИПК ОАО Научно-исследовательским институтом технологии и организации производства, 1980. – 59 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 20 декабря 1982г №4923-ст : введен впервые : дата введения 1984-01-01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1982. – 18 с.
4. ПИ 1.4.415-92 Контроль сварных и паяных соединений методами радиационной дефектоскопии : производственная инструкция : утверждена и зарегистрирована ПК10 : введена впервые : дата введения 1992-01-01 – ИПК ОАО НИАТ, 1992. – 98 с.
5. Кравченко, А. С. Разработка технологических рекомендаций по повышению качества сварных соединений элементов трубопроводных систем из нержавеющей сталей 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 MMJPH.

УДК 006.067

Сафроненко Ольга Владимировна, студент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет

Safronenko Olga Vladimirovna, student of Komsomolsk-na-Amure State University

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

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

## **ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ ПО УТВЕРЖДЕНИЮ ТИПА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ НЕУТВЕРЖДЕННОГО ТИПА**

### **TEST PROGRAM FOR TYPE APPROVAL OF MEASUREMENT INSTRUMENTS OF UNAPPROVED TYPE**

Аннотация. Основой утверждения типа средств измерений является государственный метрологический контроль, главной целью которого является обеспечение единства измерений в стране. Согласно основным нормативным документам в области утверждения типа, поэтапно составлена программа испытаний, а так же, для проведения работ по утверждению типа, составлена последовательность проведения испытаний для утверждения типа средства измерения.

Abstract. The basis for approval of the type of measuring instruments is state metrological control, the main goal of which is to ensure the uniformity of measurements in the country. According to the main regulatory documents in the field of type approval, a test program has been drawn up step by step, and also, to carry out type approval work, a sequence of tests has been drawn up to approve the type of measuring instrument.

Ключевые слова: утверждение, испытания, контроль соответствия, программа испытаний, средство измерения.

Key words: approval, testing, conformity control, test program, measuring instrument.

#### **Введение**

Для утверждения типа СИ проводится программа испытаний, которая представляет собой комплекс мероприятий, направленных на проверку соответствия средства измерения требованиям стандартов и нормативных документов [1].

Введение программы испытаний позволяет повысить качество и достоверность измерений, что является необходимым условием для их применения в различных областях науки, техники и промышленности. Процесс испытаний предполагает проведение ряда экспериментов и проверок, которые направлены на выявление особенностей работы средства измерения, а так же соответствие СИ требованиям [3].

Требования соответствия СИ прописаны в государственном стандарте РФ ГОСТ Р 8.563-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений», который введен в действие с 15 апреля 2010 года. А так же, на основе опыта разработки и аттестации МВИ, был разработан и введен в действие с 1 марта 2015 года ГОСТ 8.010-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения».

**Целью** программы испытаний является обеспечение надежности, точности и поверяемости результатов измерений. Один из ключевых аспектов программы испытаний - это разработка и выбор методов, приемов и средств, которые позволяют достичь максимальной достоверности результатов.

#### **Порядок утверждения типа средства измерения**

Основным этапом утверждения является составление программы испытаний – это определение требований к средству измерения в соответствии с его назначением. В

этом процессе учитываются факторы, такие как точность измерений, диапазон измеряемых величин, долговременная стабильность и прочие характеристики.

Вторым этапом программы испытаний является разработка плана проведения испытаний. В нем должны быть четко определены методы испытаний, протоколы, критерии оценки результатов и сроки проведения испытаний [2].

Третий этап – проведение испытаний. Для проведения испытаний используются специальные стенды, приборы и программные средства, которые позволяют провести испытания с высокой степенью достоверности.

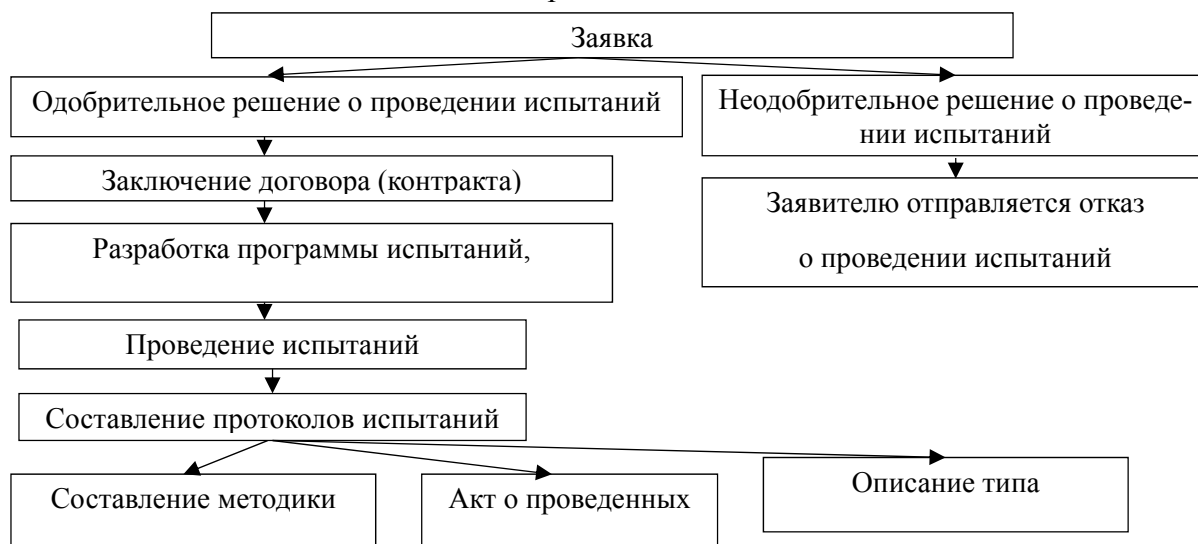


Рисунок 1 – Блок-схема порядка утверждения типа СИ

На рисунке 1 графически изображена блок-схема порядка утверждения типа СИ. Заявитель оформляет заявку согласно МИ 3650-2022 «Рекомендация по оформлению заявок, заявлений и прилагаемых к ним документов при утверждении типа средств измерений и внесении изменений в сведения о них, содержащиеся в федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений».

При положительном решении в соответствии с Федеральным законом №44-ФЗ направление заявки на проведение испытаний средств измерений Испытателю осуществляется после подписания договора (контракта) на проведение испытаний средств измерений.

Организацию и порядок проведения работ по испытаниям и утверждению типа средств измерений производится согласно п.3 Приказа Минпромторга России от 28 августа 2020 г. №2905.

Программа испытаний по утверждению типа СИ разрабатывается в соответствии с изменением №4 к МИ 3290-2010 «ГСИ. Рекомендация по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа», программа испытаний должна содержать обязательные пункты:

- объект испытаний;
- содержание и объем и условия испытаний,
- методы (методики) испытаний;
- идентификация программного обеспечения и оценка влияния на метрологические характеристики средства измерений (раздел разрабатывается при наличии программного обеспечения);
- опробование методики поверки, интервал между поверками;
- анализ конструкции средства измерений [4].

Испытания средств измерений проводятся государственными научными метрологическими центрами, а так же центрами, аккредитованными в качестве центров испытаний СИ (ГЦИ СИ).

В качестве ГЦИ средств измерений, вне системы РОССТАНДАРТА, но с его решения, так же могут быть дополнительно аккредитованы специализированные организации.

Результаты испытаний анализируются и оцениваются в соответствии с Приложением №2 к приказу Минпромторга России от 28 августа 2020 г. №2905. Выводы о соответствии средства измерения требованиям стандартов, а так же соответствие требованиям нормативных документов производятся по итогам результатов испытаний. На основе тех же результатов принимается решение о вероятности утверждения типа средства измерения и его применении в практической деятельности.

Заключительным этапом процедуры утвержденных СИ, является нанесение стандартизованного по форме и размерам знака утверждения на средства измерения, а так же на документацию каждого экземпляра средства измерения. На основе международных соглашений, которые заключены между Россией и другими странами, возможно принятие решения о признании результатов испытаний или утверждении типа, данное решение будет основанием для оформления свидетельства, а так же внесения типа импортируемых средств измерений в Государственный реестр и последующего их применения в России [5].

### **Заключение**

В процессе испытаний должна быть опробована методика проведения испытаний и утверждения типа средства измерений, предъявленного на испытания. Методика разрабатывается в случае отсутствия нормативного документа на методы и средства испытаний (ГОСТ, ГОСТ Р или иного НД). Факт опробования (разработки) методики констатируется в акте испытаний. Интервал между поверками рекомендательно указывается в акте испытаний, результаты расчетов интервала оформляются отдельным протоколом. В соответствии с блок схемой порядка утверждения типа средства измерения и основными нормативными документами в области утверждения была разработана методика утверждения и опробована на манометрах показывающего типа.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Об обеспечении единства измерений : Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ. – Москва : Центрмг, 2023. – 36 с.

2. Методика поверки. Порядок разработки и требования к методикам поверки СИ – Текст : электронный // Metrob.ru :[сайт]. – 2023. - URL: <https://metrob.ru/html/poverka/poradok.html> (дата обращения: 26.03.2023)

3. РМГ 51-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Документы на методики поверки средств измерений. Основные положения : дата введения 2003-05-01 / ФГУП ВНИИМС. - Москва : Изд-во стандартов, 2003. - 9 с.

4. Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения изменений в сведения о них, порядка выдачи сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, формы сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения : Приказ Минпромторга России от 28.08.2020 № 2905 (ред. от 12.08.2022) // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_368478/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_368478/) (дата обращения 30.03.2024).

5. ГОСТ Р 8.973-2019 Государственная система обеспечения единства измерений. Национальные стандарты на методики поверки. Общие требования к содержанию и оформлению : нац. стандарт Российской Федерации : изд. официальное : утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 октября 2019 года № 1057-ст : введен впервые : дата введения 2020-09-01 / разработан ФГУП ВНИИМС. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 8 с.

УДК 621.6.06

Скуратов Евгений Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Skuratov Evgeny Viktorovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бахматов Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологии сварочного и металлургического производства имени 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

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ СТАЛЬНЫХ ВАЛОВ**

### **DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR AUTOMATIC SURFACING OF STEEL SHAFTS**

Аннотация. В работе разработана технология автоматической наплавки стальных валов с применением модернизированного порталного станка и специального вращателя с программным управлением процесса дуговой наплавки порошковой проволокой. Рассмотрено два варианта проволоки: с мягким и твердым наплавленным слоем. Подобраны режимы автоматической сварки. Приведены результаты цветной дефектоскопии и твердометрии полученных наплавленных слоев.

Abstract. The work has developed a technology for automatic welding of steel shafts using an upgraded gantry machine and a special rotator with software control of the process of arc welding with powder wire. Two variants of the wire are considered: with a soft and hard deposited layer. Automatic welding modes have been selected. The results of color flaw detection and hardness testing of the obtained deposited layers are presented.

Ключевые слова: стальные валы, автоматическая наплавка, порошковая проволока, качество слоя, параметры режима

Key words: steel shafts, automatic surfacing, powder wire, layer quality, mode parameters

#### **Введение**

Городская система водоснабжения – жизненно важная и социально значимое благо первой необходимости. Из водных бассейнов в городскую систему вода поставляется при помощи насосов передающих крутящий момент от двигателя через валы. В процессе эксплуатации валы претерпевают износ в виде истирания трущихся поверхностей. Это приводит к неисправности насоса и невозможности его дальнейшей эксплуатации. Ремонт (наплавка) изношенных поверхностей вала позволяет продлить срок службы насоса и является наиболее экономически выгодным по сравнению с полной заменой оборудования [1, 2]. В работе рассматривается вопрос восстановления посадочных шеек валов насосов Д6300-27, предназначенных для перекачивания воды, температура которой не более 85 °С, или жидкости, имеющие сходные с водой свойства (вязкость, химическую активность и температуру), применяемых в организации ООО «Водоканал» г. Амурска для обеспечения забора речной воды и передачи технической воды на энергетическую компанию ПАО «ДЭК», которая в свою очередь обеспечивает потребителей электроэнергией и теплоснабжением. Также речная вода передается по технологическим трубопроводам на станции очистки и реализуется питьевой водой. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что тема работы является весьма актуальной и востребованной, поскольку позволяет осуществить ремонт дорогостоящего оборудования при минимальных экономических и людских затратах [3-4].



### Основная часть

Вал насоса представляет собой стальное тело цилиндрической формы и имеет значительную длину (рисунок 1). Конструкционным материалом является сталь 40Х - легированная углеродистая сталь с содержанием углерода около 0,4% и добавками хрома, молибдена и марганца. Эти добавки придают стали повышенную прочность, твердость и устойчивость к износу.

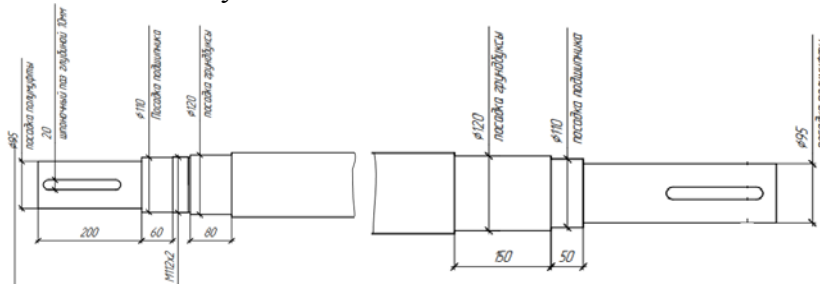


Рисунок 1 – Левый и правый хвостовики вала насоса

Вал имеет шейки для установки подшипников, которые предназначены для поддержания его оси вращения и позволяют вращать вал с минимальными потерями энергии.

К восстановлению допускаются валы, имеющие износ, и коррозионные разрушения глубиной не более 5% расчетного диаметра вала. При износе вала 15 мм на сторону, восстановление вала наплавкой не допускается.

Анализ возможных вариантов восстановления вала [3] принято решение по применению дуговой наплавки порошковой проволокой. Для реализации процесса применялось оборудование кафедры ТСМП: порталный станок для плазменной резки с внесением конструктивных изменений под крепление сварочной горелки и флюсового бункера, вращателя с шаговым двигателем и электронным управлением скоростью вращения, источника питания с подающим механизмом проволоки (рисунок 2) [5].

а)



б)



Рисунок 2 – Вращатель для вала (а), сварочная горелка и бункер для флюса (б), установленные в программируемый порталный станок

В ходе работы применялось два варианта порошковой проволоки: с невысокими показателями твердости – марки ПП-3СМ-103-Т(Н)-Ф и гарантирующей высокий показатель твердости марки «ProstoHRC60ch» диаметром 2 мм. Проволока «ProstoHRC60ch» была выбрана из соображений повышения износостойкости восстанавливаемой поверхности и увеличения ресурса вала. Показано, что порошковые проволоки не являются самофлюсующимися и требуют дополнительной газовой или флюсовой защиты. Применен флюс АН-15М, способствующий исключению образования пористости в наплавляемых валиках.

Наплавка осуществлялась при равных значениях параметров режима процесса: скорость наплавки 18,84 м/ч, сила сварочного тока 180 А, напряжение сварочной дуги 29В.

Результаты измерения высоты и глубины проплавления валиков приведены в таблице 1, значения соответствуют рекомендуемым, минимизирующим последующую механическую обработку.

Таблица 1 - Замеры высоты валиков и глубины проплавления (в миллиметрах)

Высота наплавленных валиков относительно основного металла									
Позиция и номер валика	при применении проволоки								
	Prosto HRC 60 Ch				ПП-3СМ-103-Т(Н)-Ф				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
0°	1,9	2	2	2,1	2	2	1,5	1,8	1,7
90°	1,5	2	1,5	1,9	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8
180°	1,8	1,9	1,8	1,9	1,9	1,6	1,2	2	1,6
270°	1,9	1,9	2	1,9	1,2	2,2	1	1,3	1,4
Высота валиков на срезе									
	3,5	2,9	3	3	6	5	5	5,2	5,5

В результате проведения опытных наплавов получено удовлетворительное качество валиков при применении сочетания проволоки марки ПП-3СМ-103-Т(Н)-Ф и флюса АН-15М, обладающим средней твердостью 21 HRC, соответствующее твердости основного металла вала. Применение проволоки «ProstoHRC60ch» приводит к образованию поперечных трещин через весь наплавленный слой (по всем валикам) и достижению значений твердости 58 HRC.

#### **Заключение**

Разработана технология восстановления изношенной поверхности стального вала насоса Д6300-27 методом автоматической дуговой наплавки порошковой проволокой под слоем флюса.

Показано, что способ восстановления стальных валов автоматической дуговой наплавкой порошковой проволокой под флюсом является доступным и возможным в реализации на ООО «РМС Водоканал».

Оба варианта сочетания порошковой проволоки и флюса могут быть применимы в практике восстановления валов насосов Д6300-27, применяемых в ООО «Водоканал» г. Амурск.

#### **Благодарности**

Научно-исследовательские работы выполнены за счёт средств ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (НИР № ВН001/2023).

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Водоснабжение и водоотведение : учеб, пособие / Н. Ю. Акименко, Г. Г. Медведева ; [науч. ред. М. Н. Шевцов]. - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. Гос. Ун-та, 2018. - 112 с.
2. Эксплуатация городских водоотводящих сетей : учеб. пособие / С. С. Душкин, А. Н. Коваленко ; под общ. ред. С. С. Душкина ; Харьков, нац. Ун-т гор. Хоз-ва им. А. Н. Бекетова. - Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2018. - 180 с.
3. Наплавка и напыление : производственно-практическое издание / А. Хасуи, О. Моригаки ; пер. с яп. В. Н. Попова ; под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. - Москва : Машиностроение, 1985. - 239 с.
4. Гладков, Э. А. Автоматизация сварочных процессов: учебник / Э. А. Гладков, В. Н. Бродягин, Р. А. Перковский. – Москва : Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 421 с.
5. Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочно-наплавочного валика, в том числе и в применении аддитивных технологий, на установке автоматической сварки в защитных газах : монография / П. В. Бахматов, А. В. Фролов, А. С. Кравченко [и др.] ; под общ. ред. П. В. Бахматова. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2024. – 185 с. ISBN 978-5-7765-1562-0

УДК 621.791

Старцев Егор Андреевич, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Startsev Egor Andreevich, senior lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

Бахматов Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология сварочного и металлургического производства имени В.И. Муравьева», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bakhmatov Pavel Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Technology of Welding and Metallurgical Production named after V.I. Muravyov", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФЛЮСА**

### **IMPROVING THE TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF AUTOMATIC ARC WELDING BY USING EXPERIMENTAL FLUX**

Аннотация. В данной работе рассмотрена возможность повышение технологических возможностей автоматической дуговой сварки путем использования экспериментального флюса. Установлено, что создание сварного стыкового соединения тонкостенных образцов без разделки кромок связано с проблемой отсутствия перекрытия валиков. Рекомендация изменить диаметр проволоки на больший и повысить погонную энергию дуги не является технологичной. Увеличение размерности сварочной ванны при применении экспериментального флюса позволит существенно увеличить скорость сварки и глубину провара стыковых соединений.

Abstract. In this paper, the possibility of increasing the technological capabilities of automatic arc welding by using an experimental flux is considered. It was found that the creation of a welded butt joint of thin-walled samples without cutting edges is associated with the problem of the lack of overlap of the rollers. The recommendation to change the wire diameter to a larger one and increase the linear arc energy is not technologically feasible. An increase in the dimension of the welding bath when using an experimental flux will significantly increase the welding speed and the depth of welding of butt joints.

Ключевые слова: автоматическая дуговая сварка, экспериментальный флюс, сварочные материалы

Key words: automatic arc welding, experimental flux, welding materials

#### **Введение**

В настоящее время ведутся исследования в рамках повышение технологических возможностей автоматической дуговой сварки, в том числе при использовании экспериментальных флюсов которые созданы на основе техногенных и минералогических отходов.

Правильно подобранный флюс позволяет решить следующие задачи:

- защита расплавленного металла в сварочной ванне;
- обеспечение флюсом устойчивости горения сварочной дуги;
- снижение энергетических затрат на сварку и предотвращение разбрызгивания металла;
- улучшение условий формирования шва;
- возможность изменения химического состава сварного шва для получения необходимых качеств соединения.

Кроме того, сварка под флюсом имеет и другие преимущества: она позволяет достичь высокого уровня механизации, появляется возможность комплексной автоматизации сварочных процессов.

При этом такая автоматическая линия обеспечивает стабильные показатели качества сварных швов

### Основная часть

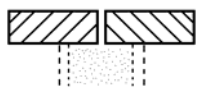

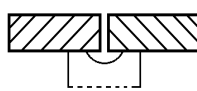
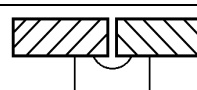
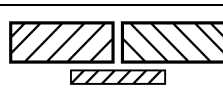
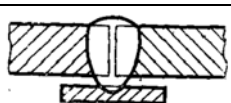
Как видно из работы [1] при дуговой двухсторонней сварке под слоем стандартного флюса ОК FLUX 10.71 с применением проволоки 12-22 диаметром 3 мм, создание сварного стыкового соединения тонкостенных образцов без разделки кромок связано с проблемой отсутствия перекрытия валиков (несплавление). Увеличение погонной энергии дуги за счет повышения силы тока, напряжения на дуге, снижения скорости сварки, не способствует увеличению глубины проплавления, особенно при наложении обратного валика. Это объясняется изменением баланса энергии в сторону плавления сварочной проволоки, что выражается в увеличении ширины шва и высоты усиления. Причиной такого эффекта служит аппаратная логика управления скоростью подачи сварочной проволокой в зависимости от величины дугового зазора: при большей скорости плавления проволоки увеличивается скорость ее подачи при сохранении постоянства дугового зазора, так называемая система АРНД [2]. В нормативной документации по сварке (таблица 1), например [3], в этом случае, рекомендуется изменить диаметр проволоки на больший и повысить погонную энергию дуги. Такой подход не технологичен так как требует применения проволок как минимум двух диаметров, либо двойного комплекта сварочного оборудования, либо дополнительных временных затрат на смену проволоки в сварочном аппарате и коррекции параметров режима сварки.

Увеличение размерности (длины и глубины) сварочной ванны при применении экспериментального флюса [4] свидетельствует об изменении баланса энергии в сторону плавления основного материала, а не сварочной проволоки, что позволяет при повышении мощности источника существенно увеличить скорость сварки, а также глубину (толщину свариваемых деталей) провара стыковых соединений без разделки кромок, или обеспечить узкую разделку. Тем самым расширить технологические возможности дуговой сварки под слоем флюса по ГОСТ 8713-79 в части максимальных толщин стыковых соединений, получаемых с применением формирующих устройств (типы соединений С4 и С5). Согласно [5], диапазон толщин соединяемых в стык деталей и свариваемых дуговой сваркой под слоем флюса, в зависимости от способа формирования обратного валика, соответствуют: на флюсовой подушке (АФф) - 2,0...10,0 мм; на флюсо-медной подкладке (АФм) - 3,0...12,0 мм; на медном ползуне (АФп) - 5,0...20,0 мм; на остающейся металлической подкладке (АФо) - 2,0...12,0 мм. При этом максимум толщины свариваемых деталей 20,0 мм при сварке на медном ползуне достигается за счет применения большого зазора 6 мм с допуском +2 мм.

### Заключение

Таким образом, использование экспериментального флюса позволит повысить технологические возможности автоматической дуговой сварки в части максимальных толщин стыковых соединений.

Таблица 1 – Конструктивные элементы

Конструктивные элементы		Способ сварки	Толщина свариваемых деталей	Тип соединения
подготовленных кромок свариваемых деталей	шва			
		АФф	2,0 – 10,0	С4
		АФм	3,0 – 12,0	
		АФп	5,0 – 20,0	
		АФо; МФо	2,0 – 12,0	С5

### **Благодарности.**

Научно-исследовательские работы выполнены за счёт средств ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (НИР № ВН001/2023 «Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочного/наплавочного валика (в том числе и в применении аддитивных технологий) на установке автоматической сварки в защитных газах»).

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Опыт применения флюса ОК FLUX 10.71 и проволоки 12-22 для сварки двухсторонних стыковых соединений низкоуглеродистой стали / П. В. Бахматов, А. В. Москаева, Е. А. Старцев, Г. И. Усанов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2019. – Т. 1, № 3(39). – С. 81-95. – EDN МКНQQI.
2. Гладков Э. А., Киселев О. Н., Перковский Р. А. Контроль и управление глубиной проплавления при дуговой сварке : учеб. пособие / Гладков Э. А., Киселев О. Н., Перковский Р. А. ; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 71 с. : ил. - Библиогр.: с. 69-71. - ISBN 5-7038-2209-2.
3. РД 5P.9083-92 Корпуса стальных судов. Сварка углеродистых и низколегированных сталей. Основные положения: руководящий документ: Утвержден техническим комитетом по стандартизации. Одобрен Регистром РФ, Речным Регистром РФ: Взамен РД 5.9083-83: Дата введения 93.01.01 / Разработан ордена Трудового Красного Знамени Центральным научно-исследовательским институтом технологии судостроения. Внесен Центральным научно-исследовательским институтом стандартизации – 201 с.
4. Старцев Е.А., Бахматов П.В. Влияние режимов дуговой автоматической сварки на геометрические параметры шва стыковых соединений из низкоуглеродистой стали, выполненных с применением экспериментального флюса // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2023. – Т. 25, № 4. – С. 61–73. – DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.4-61-73.
5. ГОСТ 8713-79. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры = Flux welding. Welded joints. Main types design elements and dimensions: межгосударственный стандарт: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26.12.79 N 5047 Взамен ГОСТ 8713-70: дата введения 1981-01-01 / разработан Государственным комитетом СССР по стандартам, Академией наук УССР. Внесен Государственным комитетом СССР по стандартам. – М.: Стандартиформ, 2007. – 42 с.

УДК 66.041

Сычева Александра Алексеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sycheva Alexandra Alekseevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Проценко Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет Protsenko Alexander Evgenievich, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧИ УЗК**

### **DESIGN OF FURNACE FOR A DELAYED COKING PLANT**

Аннотация. В данной статье выполняется проектирование печи для установки замедленного коксования при производительности в 160 тонн. Выбор осуществляется, учитывая назначения печи и ее тепловой нагрузки. Путем проведения расчетов и анализа существующих печей был сделан выбор и выполнена проверка выборной печи. Это исследование обладает практической значимостью и может быть использовано при выборе печи для конкретного проекта или задачи.

Abstract. In this article, the design of a furnace for a delayed coking unit with a capacity of 160 tons is carried out. The choice is made taking into account the purpose of the furnace and its thermal load. By carrying out calculations and analyzing existing furnaces, a choice was made and a test of the selected furnace was carried out. This research has practical significance and can be used when selecting a furnace for a specific project or task.

Ключевые слова: коксование, трубчатая печь, нефтепереработка, кокс, тепловая нагрузка.  
Key words: coking, tube furnace, oil refining, coke, heat load.

## Введение

В настоящее время одними из важнейших задач нефтеперерабатывающей промышленности является углубление переработки сырья и оптимизация затрат. Одним из методов, применяемых для достижения этих целей, является процесс замедленного коксования. Он позволяет получать ценный продукт, который широко быт используется в различных отраслях, таких как металлургия, химическая промышленность и производство электродов - кокс.

Процесс замедленного коксования осуществляется путем нагревания сырья в печи до высокой температуры без доступа кислорода. Такие условия позволяют производить термическое разложение углеводов с образованием кокса.

Существуют различные типы печей, отличающиеся по технологическим, теплотехническим, конструктивным и другим признакам. Все они имеют свои особенности и применение. Использование правильно подобранной печи в процессе коксования позволяет достичь высокой производительности, эффективной переработки сырья и получения качественного кокса.

Целью данной статьи является выбор оптимальной печи для установки замедленного коксования на производительность 160 тонн. В результате расчетов и анализа будет определена наиболее подходящая и эффективная печь.

## Основная часть

Печь является одним из ключевых элементов в установке замедленного коксования и играет важную роль в процессе производства кокса, так как она выполняет главную функцию в термической обработке сырья и соответственно превращения углеводов в кокс.

Рассмотрим процесс выбора типоразмера трубчатой печи с учетом ее назначения, теплопроизводительности и вида используемого топлива.

Что бы выполнить расчет теплопроизводительности, необходимо выполнить ряд других вычислений [3].

Энтальпия паров нефтепродуктов на выходе из печи  $i_{\text{ВЫХ}}^{\text{п}}$ , кДж/кг

$$i_{\text{ВЫХ}}^{\text{п}} = (50,2 + 0,109t_2 + 0,00014t_2^2)(3,992 - 0,9952\rho_1^{20}) - 73,4)4,1868, \quad (1)$$

$$i_{\text{ВЫХ}}^{\text{п}} = ((50,2 + 0,109 \cdot 507 + 0,00014 \cdot 507^2) \cdot (3,992 - 0,9952 \cdot 0,832) - 73,4)4,1868 = 1566.$$

Энтальпия нефтепродуктов на входе в печь  $i_{\text{ВХ}}^{\text{ж}}$ , кДж/кг

$$i_{\text{ВХ}}^{\text{ж}} = \frac{0,403 \cdot t_1 + 0,000405 \cdot t_1^2 \cdot 4,1868}{\sqrt{0,9952 \cdot \rho_4^{20} + 0,0086}}, \quad (2)$$

$$i_{\text{ВХ}}^{\text{ж}} = \frac{0,403 \cdot 257 + 0,000405 \cdot 257^2 \cdot 4,1868}{\sqrt{0,9952 \cdot 0,9 + 0,0086}} = 574.$$

Энтальпия нефтепродуктов на выходе из печи  $i_{\text{ВЫХ}}^{\text{п}}$ , кДж/кг

$$i_{\text{ВЫХ}}^{\text{п}} = \frac{0,403 \cdot t_2 + 0,000405 \cdot t_2^2 \cdot 4,1868}{\sqrt{0,9952 \cdot \rho_4^{20} + 0,0086}}, \quad (3)$$

$$i_{\text{ВЫХ}}^{\text{п}} = \frac{0,403 \cdot 507 + 0,000405 \cdot 507^2 \cdot 4,1868}{\sqrt{0,9952 \cdot 0,9 + 0,0086}} = 1358.$$

Полезная тепловая нагрузка печи  $Q_{\text{полезн}}$ , кВт

$$Q_{\text{полезн}} = G_c(e \cdot i_{\text{ВЫХ}}^{\text{п}} + (1 - e)i_{\text{ВЫХ}}^{\text{ж}} - i_{\text{ВХ}}^{\text{ж}}), \quad (4)$$

$$Q_{\text{полезн}} = 44,4(0,27 \cdot 1566 + (1 - 0,27)1358 - 574) = 37356.$$

Энтальпия уходящих из печи дымовых газов  $I_{yx}$ , кДж/кг

$$I_{yx} = (m_{CO_2} \cdot C_{pCO_2} + C_{pH_2O} \cdot C_{pH_2O} + C_{pO_2} \cdot C_{pO_2} + C_{pN_2} \cdot C_{pN_2}) \cdot t_{yx}, \quad (5)$$

$$I_{yx} = (2,795 \cdot 0,99 + 2,139 \cdot 1,9477 + 0,59 \cdot 0,9651 + 14,985)357 = 7818.$$

Коэффициент полезного действия печи  $\eta_{п}$

$$\eta_{п} = 1 - \frac{I_{yx}}{Q_{н}^{п}} - q_{пот}, \quad (6)$$

$$\eta_{п} = 1 - \frac{7818}{49995} - 0,05 = 0,79.$$

Полная тепловая нагрузка печи  $Q_T$ , МВт

$$Q_T = \frac{Q_{полезн}}{\eta_{п}}, \quad (7)$$

$$Q_T = \frac{37356}{0,79} = 47.$$

Получив значение теплопроизводительности и изучив различные печи, был сделан выбор в пользу печи ГС 959/24.

Печь типа ГС - это коробчатая трубчатая печь с верхним выводом топочных газов. В ней трубные экраны расположены горизонтально, а смешанное топливо сжигается свободно вертикально.

Обслуживание с одной из сторон печи возможно благодаря расположению горелочных устройств. Такое обслуживание дает возможность установить две радиантные камеры рядом [3].

Технические характеристики выбранной печи представим в виде табл. 1

Таблица 1 – Соответствие элементов работы и стиля оформления

Показатель	ГС 959/24
Радиантные трубы: Поверхность нагрева, м <sup>2</sup> Рабочая длина, м	959 24
Теплопроизводительность, МВт (при среднедопускаемом теплонапряжении радиантных труб 29 кВт/м <sup>2</sup> )	51,9
Габаритные размеры, м: Длина Ширина Высота	29,38 6 22
Масса, т: Металла (без змеевика) Футеровки	146,4 253,5

Чтобы точно удостовериться, что печь подходит рассчитываем необходимую поверхность нагрева радиантных труб:

$$H_p = \frac{Q_p}{q_p} = \frac{23819}{29} = 821 \text{ м}^2 \quad (8)$$

Для выбранного нами типоразмера печи ГС 959/24 поверхность нагрева составляет 959 м<sup>2</sup>, поэтому её хватит с запасом. Что доказывает, что данная печь обладает необходимыми техническими характеристиками для обеспечения эффективного процесса производства кокса.

### Заключение

В ходе исследования был произведен расчет теплопроизводительности, являющийся одним из важнейших характеристик для выбора оптимальной печи. В ходе дальнейшего анализа различных моделей печей, было решено остановиться на печи ГС 959/24, наиболее соответствующей требуемым параметрам. Описание характеристик и параметров этой печи позволяет получить полное представление о ее возможностях. Основываясь на проведенной проверке поверхности нагрева радиантных труб, можно утверждать, что выбранная печь обладает высокой эффективностью и полностью удовлетворяет необходимым требованиям. Выбор подходящей печи поможет повысить эффективность и качество процесса.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ахметов, С.А. Технологические расчеты реакционных аппаратов нефтепереработки / С.А. Ахметов. – Уфа : Учеб. пособие, 2013, 167 с.
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов / А. Г. Касаткин. - Москва : Химия, 1991. – 789 с. – URL: <http://www.ncm.unn.ru/files/2015/11/kasatkin.pdf> (дата обращения 01.04.2024).
3. Липин, А.А. Расчет трубчатых печей: учеб. пособие / А.А. Липин, А.Г. Липин; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2019. – 80 с. – URL: [https://mkl.isuct.ru/e-lib/sites/default/files/piaht\\_22102019.pdf](https://mkl.isuct.ru/e-lib/sites/default/files/piaht_22102019.pdf) (дата обращения 01.04.2024).
4. Магарил Р. З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти / Р.З. Магарил. - Москва : Химия, 1976. – URL: [https://www.studmed.ru/view/magaril-rz-teoreticheskie-osnovy-himicheskikh-processov-pererabotki-nefti\\_aa4c223d577.html](https://www.studmed.ru/view/magaril-rz-teoreticheskie-osnovy-himicheskikh-processov-pererabotki-nefti_aa4c223d577.html) (дата обращения 01.04.2024).
5. Технологические расчеты установок переработки нефти: Учеб. пособие для вузов / М.А. Танатаров, М.Н. Ахметшина, Р.А. Фасхутдинов и [др.]. Москва : Химия, 1987. - 352 с. – URL: [https://www.studmed.ru/view/tanatarov-ma-ahmetshina-mn-fashutdinov-ra-tehnologicheskie-raschety-ustanovok-pererabotki-nefti\\_7827718e457.html?page=1](https://www.studmed.ru/view/tanatarov-ma-ahmetshina-mn-fashutdinov-ra-tehnologicheskie-raschety-ustanovok-pererabotki-nefti_7827718e457.html?page=1) (дата обращения 01.04.2024).

УДК 665.656

Терехов Дмитрий Николаевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Terekhov Dmitry Nikolaevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Проценко Александра Николаевна, кандидат химических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Protsenko Alexandra Nikolaevna, Candidate of Chemical Sciences, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ИЗОМЕРИЗАЦИИ В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРОЦЕССА**

### **STUDY OF PROSPECTS AND POSSIBILITIES OF LOW-TEMPERATURE ISOMERISATION IN OIL REFINING: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE PROCESS**

Аннотация. В статье рассматривается процесс низкотемпературной изомеризации в производстве нефтяных топлив с целью уменьшения с целью применения его в промышленности для оптимизации процесса для повышения экономической эффективности и снижения затрат. Рассмотрены плюсы и минусы процесса изомеризации и изучена технологическая часть.

Abstract The article deals with the process of low-temperature isomerisation in the production of petroleum fuels with the aim of reducing it in order to apply it in industry to optimise the process to increase economic efficiency and reduce costs. The pros and cons of the isomerisation process are considered and the technological part is studied.

Ключевые слова: изомеризация, разветвление, вторичная переработка, оптимизация.

Key words: Isomerisation, branching, recycling, optimisation.

#### **Введение**

Низкотемпературная изомеризация является одним из важных процессов в нефтепереработке, который позволяет улучшить качество и увеличить выход ценных продуктов при производстве высокооктановых топлив, при этом процесс позволяет снизить экономические затраты.



Изомеризация является одним из самых распространённых и эффективных способов повышения показателей значимых характеристик нефтяных топлив, поэтому сегодня в мире стоит задача разработки и анализа потенциала низкотемпературной изомеризации в нефтепереработке и определении путей его оптимального использования для достижения максимальных результатов.

#### **Основная часть**

Ключевым сырьем блока изомеризации является пентан-гексановая фракция с установки каталитического риформинга (фр. 30-75 °С), а также фракция 30-100 °С из блока первичной переработки нефти, блок ЭЛОУ-АВТ.

В настоящее время предложена следующая классификация процессов изомеризации исходящая из различных параметров температурных режимом, а именно:

1. Высокотемпературная – процесс проводится при диапазоне 380 -450°С. Октановое число составляет 73-76 единиц, при этом выход изомеризата за один цикл составляет примерно 91%.
2. Среднетемпературная – процесс протекает при режиме 230 – 280 °С, октановое число составляет 77-81 единиц, выход составляет 97%.
3. Низкотемпературная - процесс проводится при диапазоне 90 - 220°С. Октановое число составляет 80-83 единиц, при этом выход изомеризата за один цикл составляет примерно 99%. [2]

Помимо этого достоинства, низкотемпературная изомеризация обеспечивает более высокую стабильность продукта: изомеризация при низких температурах может способствовать образованию более стабильных изомеров, что улучшает качество продукта.

На сегодняшний день мировыми лидерами в разработке технологии низкотемпературной изомеризации, а также производстве катализаторов являются Axens, Изомалк, Süd-Chemie. Большая часть доли импорта катализаторов составляют сульфатциркониевые и алюмооксидные соединения, которые являются одними из самых эффективных катализаторов на рынке.

Процесс превращения сырья зависит от вида используемого катализатора. На бифункциональных катализаторах, обладающих дегидро-гидрирующей и кислотной активностями, реакции изомеризации идут как на металлических, так и на кислотных центрах. Лимитирующей является стадия, проходящая на кислотных центрах, в то время как реакции гидрирования и дегидрирования идут быстро. Основным катализатором является катализатор на основе хлорированной окиси алюминия, они наиболее активны и обеспечивают самый высокий выход и октановое число изомеризата. Следует отметить, что в ходе изомеризации катализаторы теряют хлор, в результате активность снижается.

Несмотря на плюсы данного типа катализатора, в ходе эксплуатации наблюдаются и негативный фактор: данный тип очень чувствителен к закоксовывающим веществам (каталитические яды), поэтому необходима продувка ВСГ (водородсодержащий газ) под критическим давлением. Данный процесс обеспечит большую продолжительность активности металлических и кислотных центров катализатора в отсутствие водорода.

При минимальных инвестициях в реализацию процесса изомеризации может быть использована экономически эффективная схема без рециркуляции «за проход».

Кроме того, для обеспечения производства максимального количества изомеризата существует решение – использование схемы с деизопентанизацией сырья и рециклом малоразветвленных гексанов (ДИП + ДИГ) (рисунок 1). Дооборудование схемы установки изомеризации колонной деизопентанизации сырья позволяет отбирать из сырья перед реакторным блоком товарный продукт – изопентановую фракцию, что снижает нагрузку на реакторный блок и повышает глубину изомеризации нормального пентана. Реализация рецикла малоразветвленных гексанов позволяет увеличить октановое число изокомпонента до 89-90 пунктов. [3]

Этот метод остается важным в производстве широкого спектра продуктов, начиная от дизельного топлива и заканчивая коксом и газом, благодаря его способности к адаптации и многофункциональности. Однако для эффективной работы производственных установок необходимо постоянное совершенствование технологий и оборудования, чтобы оставаться конкурентоспособным на рынке нефтепродуктов. [4].

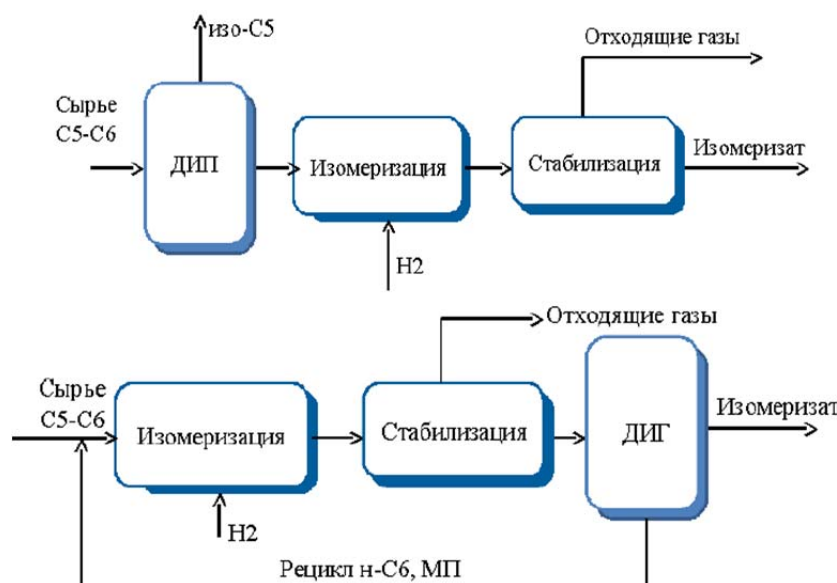


Рисунок 1 – Схема блока изомеризации

### Заключение

Подводя итоги анализа значимости и перспективы процесса каталитической низкотемпературной изомеризации, можно сделать вывод – процесс является неотъемлемой частью производства нефтяных топлив, с помощью которого предприятие имеет возможность при небольших инвестициях,кратно увеличить прибыль, за счёт производства высококачественной продукции. Низкотемпературная изомеризация имеет ряд положительных аспектов при небольшом количестве минусов, что позволяет рассматривать ее как крайне перспективное направление вторичной переработки нефти.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хаимова, Т.Г. Изомеризация как эффективный путь производства высокооктановых компонентов бензина / Хаимова Т.Г., Мхитарова Д.А. // Информац.-аналитический обзор. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2005. – 80 с.
2. Бруно Домерг. Дальнейшее развитие технологии изомеризации парафинов / Бруно Домерг, Лоран Ватрипон. // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2001. – № 4. – с. 15-27.
3. Буй Чонг Хан. Сравнительный анализ различных схем изомеризации пентангексановой фракции / Буй Чонг Хан, Нгуен Ван Ты, А. Ф. Ахметов // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2008. – № 2. – С. 22-25. – EDN JSDZNB.
4. Рябов, В. Д. Химия нефти и газа / В. Д. Рябов. – Изд. 3-е, испр. и доп. : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2020. – 311 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-015106-9. – DOI 10.12737/1017513. – EDN NTOOUO.

УДК 006.067

Холощак Ксения Максимовна, студент, Комсомольск-на-Амуре государственный университет  
Kholoschak Xenia Maksimovna, student Komsomolsk-na-Amure State University

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

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

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ АККРЕДИТАЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗАВОДСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА**

### **IMPROVING THE METHODS FOR CARRYING OUT ACCREDITATION OF CENTRAL FACTORY LABORATORY THROUGH ELECTRONIC DOCUMENT FLOW**

Аннотация. Данная работа раскрывает совершенствование методики проведения аккредитации Центральной заводской лаборатории путем подачи и прохождения аккредитации через электронный документооборот. Цель работы сократить расход бумаги, повысить скорость обмена документацией внутри организации и с внешними организациями, уменьшить финансовые расходы. Результатом работы является успешное прохождение аккредитации в заочно-дистанционном формате.

Abstract. This work reveals the advancement of the procedure for accreditation of the Central Factory Laboratory by submitting and passing accreditation through electronic document management. The goal of the work is to reduce paper consumption, increase the speed of document exchange within the organization and with external organizations, and reduce financial costs. The result of the work is the successful completion of accreditation in a distance learning format.

Ключевые слова: критерии аккредитации, центральная заводская лаборатория, методика, аккредитация, электронный документооборот.

Key words: accreditation criteria, central factory laboratory, procedure, accreditation.

#### **Введение**

По причине реформирования системы аккредитации в РФ появилась необходимость актуализация порядка аккредитации промышленных лабораторий [1]. Нарастание объемов, которые применяются на предприятии измерительного оборудования, является обязательным условием для расширения зоны аккредитации центральной заводской лаборатории. Также наличие аккредитации лаборатории подтверждает способность лаборатории соответствовать требованиям клиентов в области проведения испытаний, измерений и исследований, а также демонстрирует ее техническую грамотность при осуществлении определенных видов работ.

#### **Основная часть**

Для успешного проведения независимой оценки необходимо строго соблюдать методику аккредитации. Данная методика определяет общие требования к процедуре аккредитации Центральной заводской лаборатории Филиала ПАО «ОАК» - КнААЗ им. Ю.А. Гагарина (далее – ЦЗЛ КнААЗ). Она разработана для использования ЦЗЛ КнААЗ в процессе ее аккредитации и последующей работы в соответствии с установленной областью аккредитации. Перед тем как начать процесс аккредитации лаборатории, необходимо выполнить определенный набор предварительных мероприятий, от которых будет зависеть результат дальнейший ход действий, такие как определение цели, сферы деятельности и т.п.

После выполнения предварительных ЦЗЛ КнААЗ проводит самопроверку своего подразделения, путем анализа всех нормативно-правовых актов (далее – НПА). Затем согласно Распоряжению Заместителя директора по качеству и развитию инженеры по качеству Отдела менеджмента качества и стандартизации проводят внутренний аудит на соответствие

НПА и нормативной документации Филиала (далее – НДФ). В случае выявления несоответствий составляются мероприятия по устранению несоответствий в соответствии НДФ.

После завершения вышеуказанных процедур можно приступить к очередному этапу – установление области аккредитации ЦЗЛ. Для выявления области аккредитации необходимо четко определить виды деятельности, на которые будут направлены испытания и контроль, а также объекты, на которых будут проводиться эти испытания и контроль.

Ранее при проведении аккредитации ЦЗЛ КнААЗ все критерии отображались ручным способом на бумажном носителе, также сканирование документов, которые были заполнены от руки.

Данная совершенствованная методика обязует формировать, утверждать, направлять только через электронный документооборот (далее – ЭДО), что поможет успешно пройти заочное с дистанционных технологий аккредитацию ЦЗЛ КнААЗ. При проведении каждого этапа всегда отражается на электронном носителе – это необходимо для подачи заявления на аккредитацию через Единый портал государственных услуг, а также для прохождения аккредитации.

Для успешного прохождения аккредитации ЦЗЛ КнААЗ должна соответствовать критерию. Критерии подразделяются несколько групп и представлены на рисунке 1 [2].

Критерии аккредитации в отношении технической оснащенности и компетентности лаборатории подразумевает проведение тщательного обзора НД, определяющей применение методов контроля и испытаний, а также выявление требований к условиям помещений и окружающей среды, а также проверки журналов ППС на правильность заполнения согласно перечню помещений с контролируемыми параметрами.



Рисунок 1 – Критерии аккредитации

Одним из основных элементов данного критерия являются: испытательное оборудование, средства измерения (далее-СИ) и стандартные образцы. После определения состава вышеперечисленных элементов, определяется метрологическая пригодность, путем идентификации элементов по наличию и пригодности из выгруженного Перечня СИ из программного обеспечения (далее – ПО) 1С модуль Метрология, который утвержден ЭЦП Главного метролога.

Далее идет проверка вспомогательного оборудование, оно должно быть идентифицировано штрих-кодом, который несет информацию о сроке пригодности, дату аттестации и место нахождения данного оборудования.

Критерии аккредитации в отношении компетентности персонала относятся к основному персоналу, также могут относиться и к вспомогательному персоналу. Критерии в данной области включают в себя: образование, опыт работы; развитие персонала и повышение квалификации [3].

Для предоставления данных работников ЦЗЛ КнААЗ выгружают из ПО 1С модуля Управления персоналом и подписываются ЭЦП Начальником Управления персоналом.

Неотъемлемой частью системы оценки ЦЗЛ КнААЗ является критерии в отношении системы менеджмента качества (далее – СМК). На этапе подачи документов от ЦЗЛ требуется полный пакет материалов СМК, регламентирующие документацию СМК. Данный пакет включает в себя: Руководство по качеству ЦЗЛ, обязательные процедуры, политику и цели в области качества, карту оценки, идентификации и учета рисков, отчет о внутреннем аудите при подготовке к аккредитации, мероприятия по выполнению целей в

области качества. Также на данном этапе подготавливаются организационно-распорядительные документы, которые включают организационную структуру, приказ о назначении уполномоченного по качеству, и т.п. [4].

Проверка эффективности СМК в ЦЗЛ – это соответствующий контроль СМК в действии. Эксперты уполномоченной организации должны оценить соответствие выполняемых работ требованиям документов СМК.

Так как согласно данной методике аккредитация ЦЗЛ КнААЗ проводится в заочном формате, т.е. без выездной комиссии, то все выполнения работ фиксируются видеозаписью, также в случае возникновения вопросов с помощью видеоконференции работники ЦЗЛ КнААЗ демонстрируют выполнения работ по виду деятельности.

Необходимо подготовить данные по специальным процедурам СМК, включая инвентаризационные ведомости оборудования, паспорта СИ, графики поверки, журналы регистрации условий проведения испытаний и измерений, система идентификации образцов, результаты расчетов по методикам измерений и другие аналогичные документы, которые хранятся в цифровом формате.

Далее весь полный пакет документов заверяются квалифицированной ЭЦП Заместителя директора по качеству и развитию, и направляется через закрытый портал - «облачное хранилище данных» в РосАккредитацию.

Инспекционный контроль проводится на протяжении всего срока действия сертификата аккредитации путем систематического анализа информации о работе лаборатории. Этот вид контроля также включает в себя проверку в удаленном режиме. В случае нарушения условий аккредитации уполномоченный орган может принять решение о временной приостановке или досрочной отмене аккредитации.

#### **Заключение**

Таким образом, в результате данной работы предложенного мероприятия по улучшению процесса аккредитации ЦЗЛ помогут предприятию КнААЗ пройти успешно все этапы аккредитации и перейти на более высокий уровень цифровых технологий. В результате чего повышается качество продукта и услуги, а также поможет существенно оптимизировать бумажную работу, уменьшить число ошибок человеческого фактора, ускорить процесс проверки и, что самое важное, сократить финансовые издержки на прохождение аккредитации ЦЗЛ КнААЗ.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Об аккредитации в национальной системе аккредитации: Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 412-ФЗ (ред. от 24.07.2023) // Консультант-Плюс : [сайт]. – URL : [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_156522/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_156522/) (дата обращения 08.04.2024).

2. ГОСТ Р 51000.4-2011 Общие требования к аккредитации испытательной лаборатории : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2012 года № 143-ст : дата введения 2013-01-01 / разработан ОАО «ВНИИС» - Москва : Стандартинформ, 2013. – 20 с.

3. Об утверждении Положения о составе сведений о результатах деятельности аккредитованных лиц, об изменениях состава их работников и о компетентности этих работников, об изменениях технической оснащенности, представляемых аккредитованными лицами в Федеральную службу по аккредитации, порядке и сроках представления аккредитованными лицами таких сведений в Федеральную службу по аккредитации : Приказ Минэкономразвития России от 24.10.2020 № 704 (ред. от 30.12.2020) / Консультант-Плюс : [сайт]. – URL : [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_367999/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_367999/) (дата обращения 08.04.2024).

4. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий: межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июля 2019 года № 385-ст : дата введения 2019-09-01 – Москва: Госстандарт России : Стандартинформ, 2021. – 32 с.

УДК 658.512.22

Хрипкива Валерия Анатольевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Khripkova Valeria Anatolyevna, 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

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ ДЕТАЛИ «КАРЕТКА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CAD/CAE-СИСТЕМ**

### **IMPROVING THE MODEL OF THE «CARRIAGE» PART USING CAD/CAE-SYSTEMS**

Аннотация. Снижение массы и увеличение удельной прочности конструкций, используемых в аэрокосмической отрасли – важнейшие задачи, стоящие сегодня перед конструкторами всего мира. Решение данных проблем напрямую связано с задачей поиска оптимальных геометрических параметров проектируемого изделия за счёт применения методов топологической оптимизации. Для деталей, применяющихся в аэрокосмической отрасли, основными задачами топологической оптимизации могут являться как минимизация объема/массы при прочностных ограничениях, так и оптимизация других параметров с ограничениями по объему. Чтобы провести топологическую оптимизацию, применяют инструменты программы NX 12. Целью данной статьи является получение новой модели детали «Каретка» с помощью инструмента «Топологическая оптимизация» в программе NX 12.

Abstract. Reducing weight and increasing the specific strength of structures used in the aerospace industry are the most important tasks facing designers around the world today. The solution to these problems is directly related to the task of finding the optimal geometric parameters of the designed product through the use of topological optimization methods. For parts used in the aerospace industry, the main tasks of topology optimization can be both volume/mass minimization under strength constraints and optimization of other parameters under volume constraints. To carry out topology optimization, NX 12 software tools are used. The purpose of this article is to obtain a new model of the «Carriage» part using the «Topological optimization» tool in the NX 12 program.

Ключевые слова: деталь, оптимизация, силовые нагрузки, изгиб, сдвиг, анализ, результаты, топология.

Key words: detail, optimization, power loads, bending, shear, analysis, results, topology.

#### **Введение**

Топологическая оптимизация – это процесс подготовки модели-заготовки, из которой в дальнейшем удаляется лишний материал. В рамках модуля NX CAE топологическая оптимизация ориентирована на взаимодействие деталей в CAD-сборке. В рабочее пространство помещается деталь, подлежащая оптимизации, к ней присоединяются другие, которые не будут затронуты процессом, но участвуют во взаимодействии. Указание креплений и приложенных нагрузок производится именно в рамках сборки. Результатом топологической оптимизации является сложная структура, на основе которой формируется модель детали для производства. Такая деталь обладает требуемой прочностью при минимальной массе, но сложна в изготовлении традиционными способами [1]. В процессе работы был использован модуль NX Nastran Topology Optimization.

## Основная часть

Процесс топологической оптимизации включает в себя следующие этапы: подготовительный этап и этап топологической оптимизации. В данной статье будет описан подготовительный процесс перед топологической оптимизацией.

Процесс подготовки сборочной модели к топологии включает в себя следующие этапы:

1. Этап упрощения сборки
2. Этап задания материалов на каждую деталь в сборке
3. Этап наложения нагрузок
4. Этап добавления контактов между деталями в сборке
5. Этап решения симуляции нагрузок каретки в сборке

Оптимизация моей детали «Каретка» будет производиться в сборке, а так как топологическая оптимизация производится только на одной детали, необходимо упростить сборку – убрать из сборки детали, в оптимизации которых нет смысла, такие как подшипники, болты и ролики. По итогу упрощения сборки – сборка состоит из восьми деталей – самой каретки, уплотнительных втулок двух видов по 2 штуки, а также самого шарнирно-винтового механизма (далее – ШВМ), который тоже предварительно упрощаем, оставив только сам ободок который и крепится к каретке при помощи оси, а сам винт и двигатель убираем [2]. На рисунке 1 представлена сборка каретки в изначальном и упрощенном варианте.

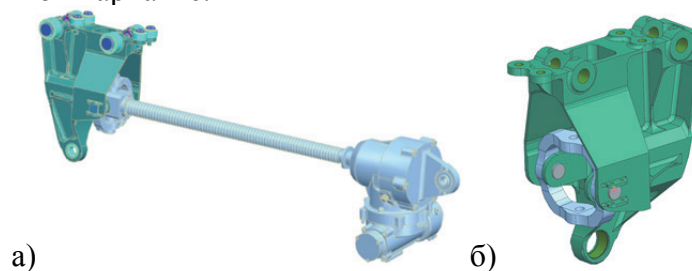


Рисунок 1 – Сборка каретки в двух вариантах:  
а - изначальная сборка; б - упрощенная сборка

При помощи модуля NX «Проектирование» создаем КЭ-модель сборки и ее симуляцию. Задаем материал для каждой детали, входящей в сборку: на саму каретку и ободок ШВМ задаем материал – титан «Titanium\_Ti\_6Al\_4V», а для уплотнительных втулок и оси крепления ободка – сверхпрочная мартенситная сталь «AISI\_Steel Maraging» [3]. После того, как задали материал для каждой детали в сборке, переходим к процессу наложения нагрузок, действующих на каретку в сборке.

Так как каретка устанавливается в механизм управления закрылками [4], поэтому необходимо рассмотреть все варианты движения каретки:

1. В покое – действует нагрузка на нижнее ухо и сила винта, приложенная в половинном размере согласно аксиоме об уравнивании тел. На рисунке 2 представлена каретка с наложенными на нее нагрузками в покое.

2. Когда каретка движется по винту вправо, то есть закрылок опускается.

3. Когда каретка движется по винту влево и соответственно закрылок поднимается.

После того как на каретку в сборке наложены нагрузки, необходимо задать контакт между контактируемыми друг с другом гранями деталей в сборке [5]. На рисунке 3 представлена каретка с наложенными контактами на контактируемые детали в сборке.

И последним этапом в подготовке сборочной модели «Каретка» к топологии является проведенный NX Nastran процесс решения наложенных нагрузок и контактов на сборку «Каретка». Результатом этого процесса являются полученные результаты симуляции (рисунок 4) относительно недеформированной детали. Исходя из этих результатов видно, что дальше необходимо провести топологическую оптимизацию двух деталей в сборке, а именно самой Каретки и ободка ШВМ, так как именно эти две детали наиболее уязвимы перед наложенными нагрузками.

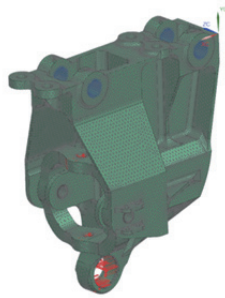


Рисунок 2 – Каретка с наложенными на нее нагрузками в покое

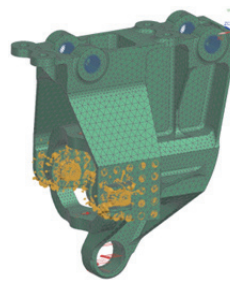
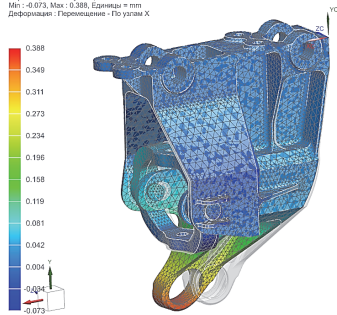
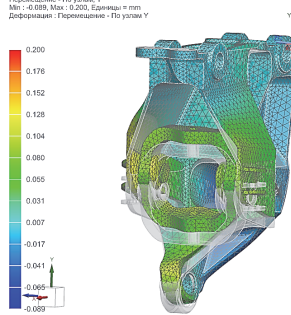


Рисунок 3 – Каретка с наложенными контактами на контактируемые детали в сборке

Картка\_у\_эбсе\_сим1 : Solution 1 Результат  
Субэлементы : Static Load 1, Статический шаг 1  
Перемещение - По узлам X  
Min: -0.073, Max: 0.388, Единицы : мм  
Деформация : Перемещение - По узлам X



Картка\_х\_эбсе\_сим1 : Solution 1 Результат  
Субэлементы : Static Load 1, Статический шаг 1  
Перемещение - По узлам Y  
Min: -0.089, Max: 0.200, Единицы : мм  
Деформация : Перемещение - По узлам Y



Картка\_у\_эбсе\_сим1 : Solution 1 Результат  
Субэлементы : Static Load 1, Статический шаг 1  
Перемещение - По узлам Z  
Min: -0.199, Max: 0.230, Единицы : мм  
Деформация : Перемещение - По узлам Z

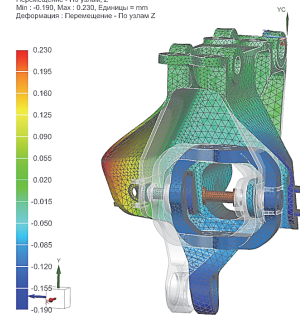


Рисунок 4 – Результаты решения нагрузок относительно недеформированной детали

### Заключение

Результатом данной статьи является упрощенная сборка каретки, с заданным материалом на каждую деталь в сборке. На упрощенную сборку согласно аксиоме об уравнивании тел приложены нагрузки. Рассмотрен процесс соединения каждой детали в сборке, на каждую деталь из сборки наложен контакт поверхности с поверхностью.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Обзор софта для топологической оптимизации и бионического дизайна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/top3dshop/articles/411999/>, свободный. – Загл. с экрана (Дата обращения: 24.03.2024)
2. Хрипкова, В. А. Анализ результатов оценки деформаций от силовых нагрузок, действующих на деталь «Каретка» / В. А. Хрипкова, А. Г. Серебренникова // 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. 96-99. – EDN JETKUO.
3. Унянин, А. Н. Инженерные расчеты с помощью программного комплекса NX : учебное пособие / А. Н. Унянин ; под ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 126 с.
4. Хрипкова, В. А. Исследование силовых нагрузок детали «Каретка», входящей в состав закрылка крыла гражданского самолета / В. А. Хрипкова, А. Г. Серебренникова // 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. 113-116. – EDN IBYGTJ.
5. Гончаров П. С., Артамонов И. А., Халитов Т. Ф., Денисихин С. В., Сотник Д.Е. NX Advanced Simulation. Практическое пособие. – Москва : ДМК Пресс, 2014. – 112 с.



УДК 621.436.12

Цзян Синьвэй, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Jiang Xinwei, Student, Komsomolsk-na-Amure State University

Люй Лань, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Хэй-лунцзянский научно-технический университет (КНР)

Lyu Lan, Graduate Student, Komsomolsk-na-Amure State University, Heilongjiang University of Science and Technology (PRC)

Чжао Цзыдун, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Zhao Zidong, Graduate Student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бурдасова Александра Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технология новых материалов», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Burdasova Alexandra Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Materials Science and Technology of New Materials, 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 Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Materials Science and Technology of New Materials, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ВЛИЯНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ НА ТОЛЩИНУ ПОКРЫТИЯ И МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА**

### **INFLUENCE OF INDUCTANCE DURING MICROARC OXIDATION ON THE COATING THICKNESS AND SURFACE MORPHOLOGY OF AN ALUMINUM ALLOY**

Аннотация. Существуют различные технологии модификации поверхности материалов из алюминиевых сплавов, основой которых является технология микродугового оксидирования (МДО). Работа посвящена анализу влияния индуктивности, введенной в цепь источника импульсов, на параметры керамических оксидных покрытий, формируемых на алюминиевом сплаве. Установлено, что введение индуктивности влияет на твердость, толщину и шероховатость покрытий не монотонно, что определяется амплитудой действия электрического тока и характером теплового пробоя.

Abstract. There are various technologies for modifying the surface of aluminum alloy materials, the basis of which is micro-arc oxidation (MAO) technology. The work is devoted to the analysis of the influence of inductance introduced into the pulse source circuit on the parameters of ceramic oxide coatings formed on an aluminum alloy. It has been established that the introduction of inductance does not monotonically affect the hardness, thickness and roughness of coatings, which is determined by the amplitude of the electric current and the nature of the thermal breakdown.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, оксидное покрытие, пленка, твердость, толщина, шероховатость, индуктивность.

Key words: microarc oxidation, oxide coating, film, hardness, thickness, roughness, inductance.

#### **Введение**

В технологии микродугового оксидирования (МДО) в качестве анода используются цветные металлы, такие как Al, Mg, Ti и их сплавы, а в качестве катода - нержавеющая сталь, которые помещаются в электролит в среде импульсного электрического поля под совместным действием термохимии, плазмохимии и электрохимии [1]. Микродуговой разряд генерируется на поверхности металла с образованием керамической оксидной пленки, металлургически связанной с подложкой. После обработки сплав приобретает поверхностную твер-

дость, износостойкость, коррозионную стойкость, устойчивость к напряжению, ударопрочность. Однако себестоимость обработки слишком высока [2].

Многочисленные исследования показали, что МДО, в основном, опирается на энергию источника питания, поэтому исследования энергопотребления направлены на снижение стоимости процесса МДО-обработки [3]. Характер электрических параметров является основным фактором, который изменяет энергопотребление процесса МДО. В работе использовался импульсный источник постоянного тока, при воздействии которого на алюминиевых сплав было проведено исследование влияния индуктивности на толщину, шероховатость и микротвердость поверхности сформированного при МДО на алюминиевом сплаве 7075 керамического покрытия.

#### **Материалы и методика проведения исследований**

Формирование оксидного покрытия выполнялось на образцах алюминиевого сплава 7075, являющегося зарубежным аналогом сплава В95. Для микродугового оксидирования использовалась лабораторная установка, установленная в центре коллективного пользования «Новые материалы и технологии» КнАГУ, и изготовленная в ДВФУ [4-6]. Установка формирует импульсы частотой 300 Гц и позволяет регистрировать форму импульсов тока и напряжения. Схема установки управляется компьютером с помощью программного обеспечения и позволяет установить время и действующее значение напряжения и тока в течение периода МДО.

Оксидирование выполнялось в электролите на основе гексаметафосфата натрия с добавлением гидроксида натрия в водном растворе в течение 60 и 120 минут. Поддерживалось действующее значение импульсного тока плотностью 15,66 А/дм<sup>2</sup>. Использовались образцы размером 3х4 см<sup>2</sup>.

#### **Результаты исследований**

На рисунке 1 показана поперечная микроструктура, полученная под электронным микроскопом. При различных импульсных токах реакции, возникающие в середине разряда, различны. Более низкие или более высокие напряжения не оказывают существенного влияния на ток пробоя и толщину покрытия.

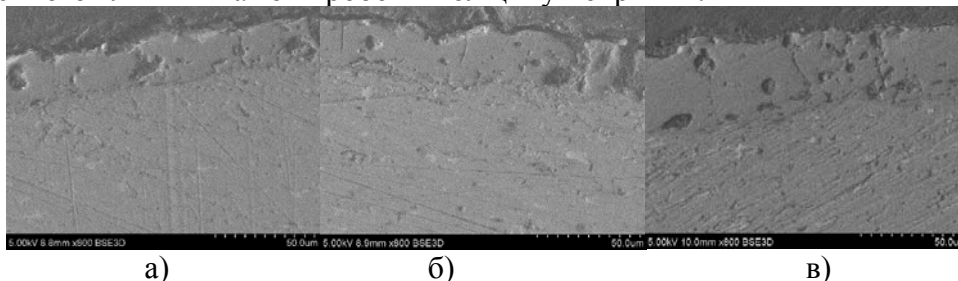


Рисунок 1 – Поперечное сечение оксидного покрытия, сформированного в процессе МДО при индуктивности L: а) 28 мГн, б) 39 мГн, в) 53 мГн

По результатам, полученным на основе проведенных измерений параметров покрытий, можно отметить следующее. Для большинства покрытий, сформированных при различной индуктивности, при увеличении времени оксидирования наблюдается закономерное возрастание значений измеренных параметров (толщины, микротвердости и шероховатости поверхности) оксидных покрытий. Однако, при индуктивности 53 мГн происходит снижение толщины при существенном росте шероховатости покрытий. Это может быть связано с изменением электрических параметров протекания импульсного электрического тока, определяющего процесс электрического, а в конечной стадии и теплового пробоя формирующегося оксидного слоя. При этом отмечено, что при оксидировании образцов с индуктивностью 53 мГн, увеличение толщины оксидного слоя, которое происходило по мере увеличения времени оксидирования с 60 минут до 120 минут, привело к снижению амплитуды импульсов тока. В результате действия двух конкурирующих механизмов, механизм гидратации оксида с образованием гидроксида алюминия стал преобладать над механизмом роста оксидной пленки, что и привело к уменьшению толщины формирующегося оксидного слоя.

Таблица 1 – Параметры покрытий, полученных на образцах сплава 7075

№ серии	24	22	25	26	30	28
Время оксидирования, мин	60	120	60	120	60	120
Индуктивность $L$ , мГн	28		39		53	
Толщина покрытия, мкм	26	35	26	37	33	29
Микротвердость HV <sub>0,01</sub>	1250	1222	1773	2128	1492	1748
Шероховатость $R_a$ , мкм	2,568	3,109	1,739	2,375	1,661	2,986

### Заключение

Результаты исследования показали, что введение индуктивности в цепь электрической ячейки при МДО алюминиевого сплава оказывает влияние на изменение характера оксидирования в связи с изменением формы и амплитуды импульсов тока. По мере роста толщины оксидного покрытия изменение амплитуды тока может являться причиной снижения скорости роста оксидного слоя в связи с тем, что образование гидроксида алюминия и, как следствие, разрушение оксидной пленки, может преобладать над механизмом окисления алюминиевого сплава, что приводит к уменьшению толщины формирующегося оксидного слоя.

### Благодарности

Работа подготовлена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 24-29-00838).

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гордиенко, П. С. Микродуговое оксидирование металлов и сплавов / П. С. Гордиенко, В. А. Достовалов, А. В. Ефименко. – Владивосток : Издательский дом Дальневосточного федерального университета, 2013. – 521 с. – ISBN 978-5-7444-3073-3. – EDN YRFERR.
2. Лернер, Л. Твердое анодирование алюминия: история и современность / Л. Лернер // Цветные металлы. – 2003. – № 6. – С. 84-87. – EDN QAUHDX
3. Местное химическое оксидирование как метод подготовки поверхности алюминиевых сплавов перед нанесением лакокрасочных покрытий / В. Н. Владимирский, Т. Г. Павловская, М. Г. Офицерова, А. Д. Жирнов // Авиационные материалы и технологии. – 2003. – № 2. – С. 78-80. – EDN QAFRND.
4. Acoustic emission that occurs during the destruction of coatings applied by microarc oxidation on an aluminum alloy / O. Bashkov, F. Bao, V. A. Kim [et al.] // 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. 2522-2525. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.08.174. – EDN NUWQBT.
5. Investigation of the influence of electrical modes on the morphology and properties of oxide coatings on aluminum alloy 1163, obtained by the microarc oxidation / O. V. Bashkov, F. Bao, T. I. Bashkova, X. Li // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 200. – P. 87-95. – DOI 10.1007/978-3-030-69421-0\_10. – EDN TWTOYQ.
6. Исследование влияния режимов микродугового оксидирования на морфологию и параметры оксидного покрытия, наносимого на алюминиевый сплав Д16АТ / Ф. Бао, О. В. Башков, Д. Чжан [и др.] // Frontier Materials & Technologies. – 2023. – № 1. – С. 7-21. – DOI 10.18323/2782-4039-2023-1-7-21. – EDN YNOVLA.

УДК 621.113

Чжао Цзыдун, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Zhao Zidong, Graduate Student, Komsomolsk-na-Amure State University

Цзян Синьвэй, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Jiang Xinwei, Student, Komsomolsk-na-Amure State University

Люй Лань, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Хэй-лунцзянский 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

Башкова Татьяна Игоревна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Материаловедение и технология новых материалов», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bashkova Tatiana Igorevna, Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Materials Science and Technology of New Materials, Komsomolsk-na-Amure State University

### **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ТОЛЩИНУ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОКРЫТИЯ, ФОРМИРУЕМОГО ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В95**

### **INFLUENCE OF VARIOUS ELECTROLYTES ON THE THICKNESS AND ROUGHNESS OF THE COATING FORMED DURING MICROARC OXIDATION OF ALUMINUM ALLOY V95**

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния состава электролитов на морфологию поверхности и толщину оксидного слоя, сформированных микродуговым оксидированием (МДО) на сплаве В95. Оксидирование с использованием технологии МДО выполнялось в растворах трех электролитов, приготовленных на основе  $(\text{NaPO}_3)_6$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Оксидирование выполнялось на одинаковых образцах алюминиевого сплава В95 в течение 60 минут. Морфология поверхности и толщина оксидного покрытия анализировались с помощью электронного микроскопа. Микротвердость измерялась микротвердомером, шероховатость – портативным измерителем шероховатости. Результаты испытаний показали, что все три электролита могут использоваться для получения МДО покрытий. Однако, при оксидировании в электролите на основе  $(\text{NaPO}_3)_6$  получают покрытия с наибольшей толщиной, в электролите на основе  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – с наибольшей твердостью, а поверхность покрытий, получаемых в электролите на основе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  имеет наименьшую шероховатость.

Abstract. The paper is devoted to studying the influence of electrolyte composition on the surface morphology and thickness of the oxide layer formed by microarc oxidation (MAO) on the aluminum alloy V95. Oxidation using MAO technology was carried out in solutions of three electrolytes prepared on the basis of  $(\text{NaPO}_3)_6$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Oxidation was carried out on identical samples of aluminum alloy V95 for 60 minutes. The surface morphology and thickness of the oxide coating were analyzed using an electron microscope. Microhardness was measured with a microhardness tester, roughness with a portable roughness meter. Test results showed that all three electrolytes can be used to produce MAO coatings. However, when oxidizing in an electrolyte based on  $(\text{NaPO}_3)_6$ , coatings are obtained with the greatest thickness, in an electrolyte based on  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  - with the greatest hardness, and the surface of coatings obtained in an electrolyte based on  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  has the lowest roughness.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, оксидное покрытие, микроструктура, электролит  
Key words: microarc oxidation, ceramic coating, microstructure, film

## Введение

Микродуговое оксидирование (МДО), является достаточно новым методом формирования защитных покрытий на основе оксидов металлов, получившим развитие после анодирования [1, 2]. В отличие от анодирования при МДО используются слабые растворы солей и щелочей, что является экологически безопасным. Технологически метод отличается тем, что при МДО используют импульсы напряжения большой амплитуды, превышающей напряжение пробоя оксидной пленки. МДО может использоваться при оксидировании таких вентильных металлов как Mg, Al, Ti, Zr, Nb, Hf и их сплавов. На поверхности формируется керамикоподобный пленочный слой на основе оксида обрабатываемого материала. Пленочный слой может достигать сотен микрон. Он обладает хорошими технологическими свойствами, такими как высокая адгезия с основой, высокие плотность, твердость и большая толщина [3]. Эти свойства могут обеспечить пленке высокую износостойкость и долговечность. Изменяются также и другие особые свойства, такие как коррозионная стойкость, электропроводность, оптическая прозрачность или отражаемость, термодинамические и биологические свойства. В то же время, благодаря своим преимуществам, таким как простота процесс формирования, низкая стоимость эксперимента, МДО в начале своего развития привлекло широкое внимание ученых [4]. Благодаря постоянному углублению соответствующих исследований технология МДО широко используется в прецизионных приборах, строительстве, машиностроении, автомобилях, аэрокосмической и других областях.

## Материалы и методика проведения исследований

Формирование оксидного покрытия выполнялось на образцах алюминиевого сплава В95. Для микродугового оксидирования использовалась лабораторная установка производства ДВФУ, находящаяся в центре коллективного пользования «Новые материалы и технологии» КнАГУ [5, 6]. Данная установка позволяет генерировать импульсы с контролируемой амплитудой тока или напряжения частотой 300 Гц. Цифровые модули установки управляются компьютером с помощью программного обеспечения по заданным шаблонам. Устройство может работать в режиме постоянного напряжения или постоянного тока.

Окисление проводили в трех различных электролитах, представляющих собой водные растворы на основе солей  $(\text{NaPO}_3)_6$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , каждый из растворов дополнительно содержал 1,5 г/л NaOH. В ходе эксперимента поддерживался режим постоянного тока на образце. Оксидирование каждого из образцов выполнялось в течение 60 минут в 3-х электролитах, при одинаковой плотности тока  $10 \text{ А/дм}^2$ .

## Результаты исследований

Для исследования параметров покрытий были изготовлены поперечные шлифы образцов с покрытиями, сформированными на образцах алюминиевого сплава В95 (рисунок 1).

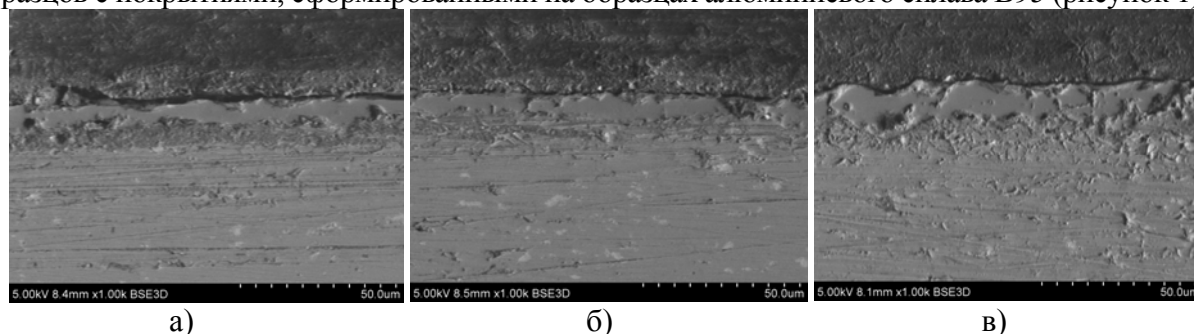


Рисунок 1. – Структура поперечных шлифов покрытий образцов сплава В95 с МДО покрытиями, сформированными в электролитах: а)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , б)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , в)  $(\text{NaPO}_3)_6$

Наблюдая за толщиной, равномерностью покрытия, распределением каналов и пор, возникшими внутри пленочных слоев оксида, сформированного на поверхности алюминиевого сплава, можно обнаружить, что покрытие, полученное в электролите на основе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , является наиболее тонким, относительно фрагментированным и нерав-

номерно распределенным по толщине. Покрытие, полученное в электролите на основе  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , имеет большее количество каналов, вызванных его пробоем, более равномерно распределено по толщине, что вызвано более равномерным ростом пленки, однако имеет больше мелких пор и пустот. Толщина пленочного слоя, полученного в электролите на основе  $(\text{NaPO}_3)_6$ , имеет максимальную толщину в сравнении с покрытиями (рисунок 2), сформированными в других электролитах в течение 60 минут.

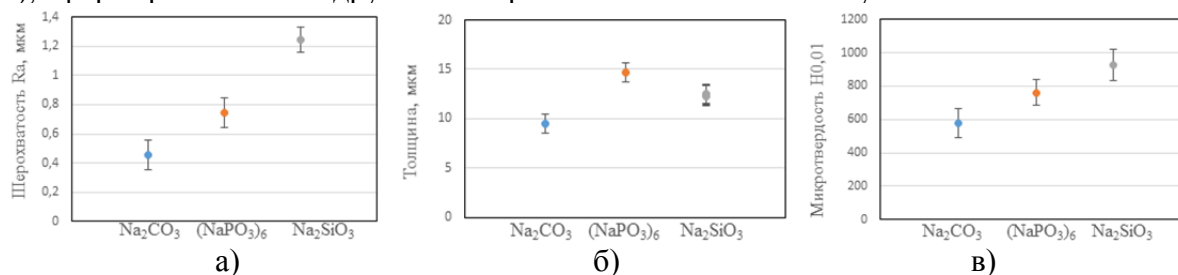


Рисунок 2 – Свойства покрытий, сформированных при МДО: а) шероховатость  $R_a$ , б) толщина, в) микротвердость HV0,01

Это показывает, что в данном средняя скорость роста оксидного слоя в электролите на основе  $(\text{NaPO}_3)_6$  больше, чем в других электролитах. Однако, во внутренней структуре покрытия имеются микропоры и крупные поры. Очевидно, что размер этих микропор значительно больше, чем в оксидном слое, сформированном в растворе  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Это связано с тем, что среда электролита на основе  $(\text{NaPO}_3)_6$  в меньшей степени способствует разрушению покрытия в процессе высокотемпературного микродугового воздействия, что приводит к образованию большего по толщине слоя и, соответственно, большей энергии микродуговых и дуговых разрядов в электролите. Пробой большего по толщине слоя в свою очередь вызывает образование больших размеров каналов и пор с формированием нового слоя оксида как на границе оксид-металл, так и на поверхности покрытия при кристаллизации расплава оксида, вызванного его выплескиванием из каналов во время разрядов.

Из диаграммы, приведенной на рисунке 2(а) видно, что значение шероховатости поверхности  $R_a$ , сформированной в электролите на основе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , самая низкая, покрытие является наиболее гладким. Шероховатость  $R_a$  поверхности покрытия, полученного в растворе  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , больше, чем в электролите на основе  $(\text{NaPO}_3)_6$ . Анализ результатов показывает, что покрытие, сформированное в электролите на основе  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , является более плотным и более твердым, о чем свидетельствует диаграмма на рисунке 2(в). Измеренная вдоль всей поверхности сечения образцов толщина покрытий показывает, что покрытие, сформированное в электролите на основе  $(\text{NaPO}_3)_6$  является наибольшим.

### Заключение

По данным анализа морфологии покрытия, шероховатости поверхности, твердости и толщины, было установлено, что наиболее гладким является оксидное покрытие, сформированное в электролите на основе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . МДО покрытия, сформированные в электролите на основе  $(\text{NaPO}_3)_6$ , имеют большую скорость роса при меньшем их разрушении в процессе разрядов, чем покрытия, приготовленные в  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  электролите. МДО покрытие, полученное в электролите на основе  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , имеет более равномерный слой и большую микротвердость, чем покрытие, сформированное в электролите на основе  $(\text{NaPO}_3)_6$ .

Можно сделать вывод, что электролит, содержащий  $\text{SiO}_3^{2-}$ , способствует повышению плотности оксидного слоя, а электролит, содержащий  $\text{PO}_4^{3-}$ , способствует росту толщины оксидного слоя. Изменения скорости роста покрытия и структуры пленки должны быть обусловлены влиянием структуры оксидной пленки и компонентов электролита на разряд, происходящий при тепловом пробое.

### Благодарности

Работа подготовлена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 24-29-00838).

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гордиенко, П.С. Микродуговое оксидирование металлов и сплавов / П. С. Гордиенко, В. А. Достовалов, А. В. Ефименко. – Владивосток : Издательский дом Дальневосточного федерального университета, 2013. – 521 с. – ISBN 978-5-7444-3073-3. – EDN YRFERR.
2. Лернер, Л. Твердое анодирование алюминия: история и современность / Л. Лернер // Цветные металлы. – 2003. – № 6. – С. 84-87. – EDN QAUHDX
3. Местное химическое оксидирование как метод подготовки поверхности алюминиевых сплавов перед нанесением лакокрасочных покрытий / В. Н. Владимирский, Т. Г. Павловская, М. Г. Офицерова, А. Д. Жирнов // Авиационные материалы и технологии. – 2003. – № 2. – С. 78-80. – EDN QAFRND.
4. Investigation of the influence of electrical modes on the morphology and properties of oxide coatings on aluminum alloy 1163, obtained by the microarc oxidation / O. V. Bashkov, F. Bao, T. I. Bashkova, X. Li // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 200. – P. 87-95. – DOI 10.1007/978-3-030-69421-0\_10. – EDN TWTOYQ.
5. Acoustic emission that occurs during the destruction of coatings applied by microarc oxidation on an aluminum alloy / O. Bashkov, F. Bao, V. A. Kim [et al.] // Materials Today: Proceedings : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMT 2019, Sevastopol, 09–13 сентября 2019 года. Vol. 19. – Sevastopol: Elsevier Ltd, 2019. – P. 2522-2525. – DOI 10.1016/j.matpr.2019.08.174. – EDN NUWQBT.
6. Исследование влияния режимов микродугового оксидирования на морфологию и параметры оксидного покрытия, наносимого на алюминиевый сплав Д16АТ / Ф. Бао, О. В. Башков, Д. Чжан [и др.] // Frontier Materials & Technologies. – 2023. – № 1. – С. 7-21. – DOI 10.18323/2782-4039-2023-1-7-21. – EDN YNOVLA.

УДК 621.6.06

Ширяев Александр Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shiryayev Alexander Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бахматов Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология сварочного и металлургического производства имени 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

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ТРУБНЫХ ДОСОК

### DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR AUTOMATIC WELDING OF PIPE BOARDS

Аннотация. В работе приведены результаты апробации установки аргонодуговой автоматической сварки трубных досок теплообменного аппарата, разработанной на кафедре ТСМП им. В.И. Муравьева. Эмпирически подобраны параметры режима сварки пульсирующей дугой с программируемой осцилляцией траектории орбитального перемещения сварочной горелки без подачи присадочного материала. Получены сварные соединения при горизонтальном расположении трубного пучка, признаны удовлетворительными по результатам цветной дефектоскопии. Предложены рекомендации по реализации установки в производственных условиях.

Abstract. The paper presents the results of testing the installation of argon arc automatic welding of pipe boards of a heat exchanger, developed at the Department of TSMP named after V.I. Muravyev. The parameters of the pulsating arc welding mode with programmable oscil-

lation of the trajectory of the orbital movement of the welding torch without the supply of filler material are empirically selected. Welded joints were obtained with a horizontal arrangement of the tube bundle, and they were found satisfactory according to the results of color flaw detection. Recommendations for the implementation of the installation in production conditions are proposed.

Ключевые слова: трубная доска, теплообменный аппарат, автоматическая сварка, программное управление, пульсирующая дуга, аргонодуговая сварка, сварное соединение  
Key words: pipe board, heat exchanger, automatic welding, software control, pulsating arc, argon arc welding, welded joint

### Введение

В составе технологического оборудования нефтепереработки применяются кожухотрубные теплообменные аппараты (рисунок 1), состоящие из кожуха (корпуса) и трубного пучка, связанного в трубную решетку (доску) с перегородками [1]. В процессе эксплуатации аппарата трубки могут приобретать дефекты в виде трещин и сквозной коррозии [2-3], по этой причине их заглушают для избежания смешивания внешнего и внутреннего продукта, а при достижении 70% заглушенных труб принимается решение о замене трубного пучка.

Изготовление трубного пучка, состоящего из нескольких сотен труб, процесс длительный и монотонный, включающий ручную аргонодуговую сварку торцов труб с трубными досками, поэтому качество соединений во многом зависит от человеческого фактора и требует автоматизации процесса [4].

а)



б)

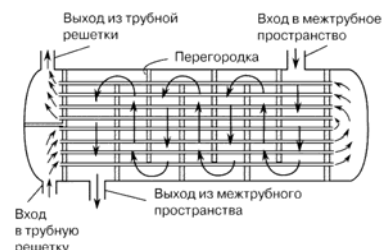


Рисунок 1 – Внешний вид (а) и схема работы (б) кожухотрубного теплообменного аппарата

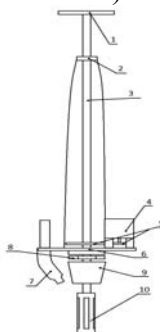
### Основная часть

На рисунке 2 показан внешний вид и конструктивные элементы используемой в работе установки автоматической сварки трубных досок.

а)



б)



в)



- 1- ручка, 2 - шайба для крепления проводов, 3 - стержень, 4 - электродвигатель, 5 – шестерни, 6 - полка, 7 - горелка, 8 - фиксирующая гайка, 9 - посадочная гайка, 10 - цанговый механизм

Рисунок 2 - Внешний вид (а) и конструктивные элементы (б, в) установки автоматической сварки трубных досок

Позиционирование устройства во внутренней полости трубы осуществляется через вальцовку типа «Р» (рисунок 2,в), на которой крепятся поворотный механизм и сварочная горелка (рисунок 2 а, б). Использование шагового двигателя позволило про-



граммно управлять траекторией перемещения горелкой, а применение в качестве источника питания сварочного инвертора KEMMPI MinarcTIG EVO 200 с функцией Mini-LOG – осцилляцию энергетических параметров дуги посредством Mach3 [5], что необходимо по следующей причине: горизонтальное расположение трубного пучка усложняет управление процессом сварки так как, при движении «на проход» горелка следует как на подъем, так и на спуск, что требует постоянного внесения изменений в параметры режима сварки. Кроме того, силы тяжести, влияющие на жидкую сварочную ванну при сварке на подъем приводят к подтеканию металла под вольфрамовый электрод, а при сварке на спуск - от него, что приводит к изменению дугового зазора и, в конечном итоге, геометрических параметров шва. Для решения этой задачи в работе рассмотрен процесс сварки пульсирующей дугой, при котором происходит программируемая осцилляция траектории движения горелки (перемещение с паузами) и импульса тока (дежурный ток при перемещении горелки и сварочный при паузе в перемещении), способствующие минимизации теплового воздействия дуги и формированию круглой сварочной ванны одинаково наполненной жидким металлом вне зависимости от расположения сварочной горелки относительно стыка.

В ходе проведения работы подобраны параметры режима сварки пульсирующей дугой с программируемой осцилляцией траектории орбитального перемещения сварочной горелки без подачи присадочного материала (таблица 1) и получено сварное соединение (рисунок 3).

Таблица 1 - Параметры сварки пульсирующей дугой

Диаметр электрода $d_2$ , мм	Сила сварочного тока $I_{св2}$ , А	Сила дежурного тока $I_{д2}$ , А	Скорость сварки $V_{св2}$ , мм/с	Расход аргона $Q_г$ , л/мин	Угол заточки электрода, град
2,4	100	40	6,9	5	15

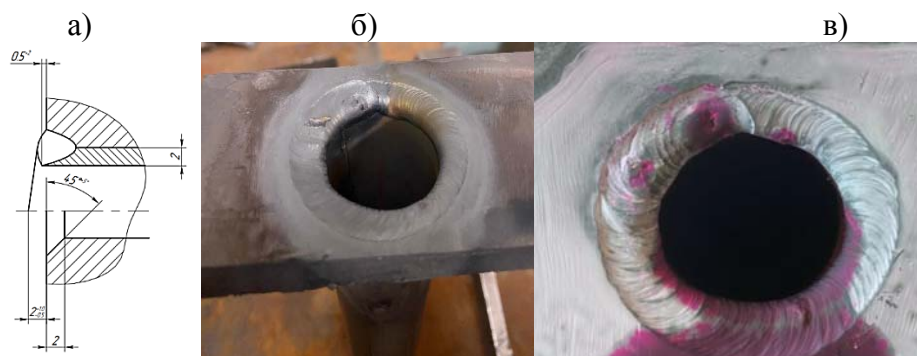


Рисунок 3 - Сварное соединение С1:

а - требуемое по ОСТ 26-02-1015-85; б - полученное после автоматической сварки,  
в - после цветной дефектоскопии

### Заключение

Проведено опробование установки автоматической аргонодуговой сварки трубных досок в горизонтальном пространственном расположении трубного пучка теплообменного аппарата.

Установлена возможность аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом соединений трубных досок без присадочной проволокой, применяя для этой цели свободный торец трубы.

Отмечается, что применение соединений С1 по ОСТ 26-02-1015-85 с обязательной фаской по отверстию не гарантирует оплавление последней. Рекомендуется не образовывать фаску и ось электрода располагать перпендикулярно поверхности доски со смещением на 1,5-2 мм от стыка.

Таким образом, достижение требований ОСТ 26-02-1015-85 по геометрии шва для промышленной реализации проекта требует проведение дополнительных доработок, как установки, так и конструктивных элементов соединений, опытных испытаний.

### **Благодарности.**

Научно-исследовательские работы выполнены за счёт средств ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (НИР № ВН001/2023 «Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочного/наплавочного валика (в том числе и в применении аддитивных технологий) на установке автоматической сварки в защитных газах»).

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Иванов А.Н., Белоусов В.Н., Смородин С.Н. Теплообменное оборудование промпредприятий : учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. – Санкт-Петербург, 2016 - 184 с.
2. Фармазов С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов: учебник для техникумов. 3-е изд. перераб. и доп. – Москва : Химия 1988. - 304 с.
3. Бажан П. И. и др. Справочник по теплообменным аппаратам / П. И. Бажан, Г. Е. Каневец, В. М. Селиверстов. – Москва : Машиностроение, 1989. - 200 с.
4. Гладков, Э. А. Автоматизация сварочных процессов (2-е издание) / Э. А. Гладков, В. Н. Бродягин, Р. А. Перковский. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2016. – 424 с. – ISBN 978-5-7038-4642-1. – EDN ZCKZKR.
5. Разработка алгоритма и исследование процесса программируемого управления формированием сварочно-наплавочного валика, в том числе и в применении аддитивных технологий, на установке автоматической сварки в защитных газах : монография / П. В. Бахматов, А. В. Фролов, А. С. Кравченко [и др.] ; под общ. ред. П. В. Бахматова. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2024. – 185 с. ISBN 978-5-7765-1562-0

УДК 541.49: 548.736

Шуляк Дарья Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Shulyak Daria Andreevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University.

Проценко Александра Николаевна, кандидат химических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Protsenko Alexandra Nikolaevna, candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University.

### **ИЗУЧЕНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ БЕНЗИНА НА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕДИ(II) И КОБАЛЬТА(II) В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ**

### **STUDY OF THE CATALYTIC ACTIVITY OF GASOLINE BASED ON COPPER(II) AND COBALT(II) HALIDE COMPLEXES IN OIL REFINING**

Аннотация. На примере реакции низкотемпературной изомеризации бензина с АВТ-2 была проведена первая исследовательская работа по изучению каталитической активности соединения хлорида меди(II) и кобальта(II) состава  $(H_2L)[CuCl_4]$  и  $(H_2L)[CoCl_4]$ , где L = 2,3,5-трифенилтетразолий в интервале температур 50-250°C. Была исследована каталитическая активность комплексов и определено теоретическое и практическое октановое число.

Abstract. Using the example of the low-temperature isomerization reaction of gasoline of AVT-2, the first research work was carried out to study the catalytic activity of a copper(II) chloride and cobalt(II) compound of the composition  $(H_2L)[CuCl_4]$  and  $(H_2L)[CoCl_4]$ , where L = 2,3,5-triphenyltetrazolium in the temperature range of 50-250°C. The catalytic activity of the complexes was investigated and the theoretical and practical octane number was determined.

Ключевые слова: каталитическая активность, комплекс, медь, кобальт, 2,3,5-трифенилтетразолий, октановое число,  $(H_2L)[CuCl_4]$ ,  $(H_2L)[CoCl_4]$ .

Keywords: catalytic activity, complex, copper, cobalt, 2,3,5-triphenyltetrazolium, octane number,  $(H_2L)[CuCl_4]$ ,  $(H_2L)[CoCl_4]$ .

## Введение

Изучение каталитической активности различных катализаторов, применяемых в нефтеперерабатывающей промышленности, является ключевой областью исследований. Создание высокоэффективных каталитических систем для нефтепереработки возможно при использовании новых комплексов на основе меди(II) и кобальта(II) с азотсодержащими органическими соединениями в кислой среде в качестве независимых катализаторов.

Высокая температура процесса является общим недостатком для современных катализаторов, включая катализаторы на основе хлористого алюминия, алюминиево-платиновые катализаторы и целостные катализаторы. Это приводит к низкой экономической эффективности, что отрицательно сказывается на результативности процессов [1-3].

Целью данной работы является изучение каталитических свойств на примере реакции изомеризации бензина с АВТ-2 при температурах, не превышающих 250°C.

В комплексах меди(II) и кобальта(II) рассматривается потенциальное использование азотсодержащего гетероциклического основания 2,3,5-трифенилтетразола в качестве каталитической системы.

Для эксперимента были использованы бензиновая фракция с АВТ-2, комплексы  $(H_2L)[CuCl_4]$  (I) и  $(H_2L)[CoCl_4]$  (II), где L = 2,3,5-трифенилтетразолий (рисунок 1), реактор, октанометр, масс-спектометр, сушильная печь и необходимое лабораторное оборудование.

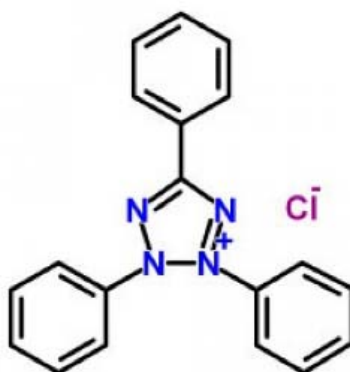


Рисунок 1 - 2,3,5-трифенилтетразолий (L)

В ходе исследования активности галогенидных комплексов на каталитическую активность использовался реактор периодического действия (рисунок 2). Примером реакции служила изомеризация бензина с использованием катализатора на основе меди(II) и кобальта(II), примененного в количестве 2% от массы углеводорода. Температура реакции варьировалась от 50 до 250°C. В реактор добавляли 10 мл бензиновой фракции с целью изучения процесса низкотемпературной изомеризации (таблица 1).

В таблицы No1 - это холостой эксперимент, который проводился в диапазоне температур 50-250°C без добавления катализатора.

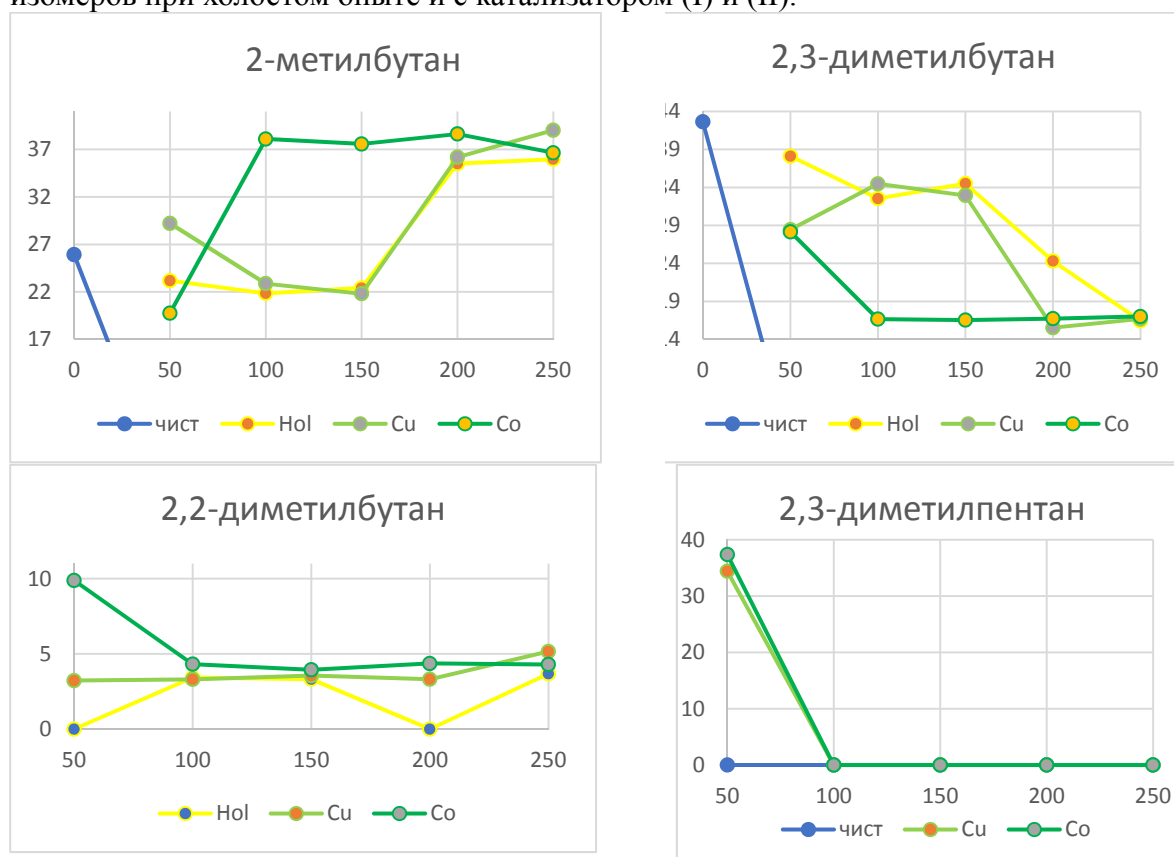


Рисунок 2 – Реактор периодического действия

Таблица 1 – Продукты реакции изомеризации при разном режиме эксперимента с бензином (%масс.)

2%/2ч	бензин с АВТ-2	50°C			100°C			150°C			200°C			250°C		
		Hol	I	II	Hol	I	II	Hol	I	II	Hol	I	II	Hol	I	II
бутан		1,96	2,91	4,84	2,27	2,21	3,97	2,04	2,33	4,45	1,27	3,97	4,43	3,55	4,88	3,19
2-метилбутан	25,93	23,18	29,85	19,76	21,84	22,87	35,1	22,41	21,81	37,58	35,5	36,19	38,63	35,97	39,05	36,65
2,3-диметилбутан	42,65	38,12	28,77	28,15	32,54	34,48	16,66	34,51	32,95	16,54	24,31	15,54	16,73	16,44	16,7	17,01
н-гексан	31,42	36,74			39,92	37,14	39,96	37,73	39,36	37,49	32,06	35,53	35,85	40,36	34,21	38,86
2,2-диметилбутан			3,69	9,88	3,43	3,3	4,31	3,31	3,55	3,94		3,31	4,36	3,68	5,16	4,29
2,3-диметилпентан			34,78	37,37												
этанол											4,28	5,46				
1-метанол-1-циклогексен											2,58					

С помощью графиков наблюдаем изменение каталитической активности ряда изомеров при холостом опыте и с катализатором (I) и (II).



В результате эксперимента были показаны каталитические свойства бензина в диапазоне температур процесса от 50 до 250°C при холостом опыте и при наличии катализаторов. Выход 2-метилбутана от 0°C до 200°C увеличен на 9,6% при холостом опыте, на 10,26% и 12,7% при добавлении (I) и (II) катализатора соответственно.

Наибольший выход 2,3-диметилбутана наблюдается при температуре 100°C и 150°C на 8,2% с (I) катализатором и на 8,14% при холостом опыте. (таблица 1).

На графиках с увеличением температуры количество 2,2-диметилбутана и 2,3-диметилпентана снижается.

Октановое число, представляющее собой меру степени сжатия топлива, используемого в двигателях внутреннего сгорания, может быть определено с помощью октанометра с применением как расчетного, так и моторного методов.

Таблица 2 – Теоретическое и практическое октановое число расчетным и моторным методом

2%/2ч	новый бензин	50°C			100°C			150°C		200°C		250°C	
		Hol	Cu	Co	Hol	Cu	Co	Hol	Cu	Hol	Cu	Hol	Cu
RON1	66,6	65,9	68,6	96,5	73,1	66,8	69,1	70,7	70,9	77,3	96,5	77,4	89,1
RON2	73,9	70,2	76,7	96,2	80,1	73,8	77,1	79,5	79,8	80,9	96,2	81,1	91,9
MON1	64	63,4	65,8	86	69,9	64,3	66,2	67,6	67,8	74,3	86	74,4	81,5
MON2	71,1	67,6	73,8	86,2	77	71,1	74,2	76,5	76,7	77,5	86,2	77,6	82,5

## Закключение

Опираясь на результаты таблицы, можно установить, что при температуре до 100°C октановое число возрастает на 10 единиц и после этого остается неизменным. Для изучения этого процесса было проведено несколько экспериментов, используя холостой опыт и катализаторы на основе меди (II) и кобальта (II), результаты которых были проанализированы при помощи масс-спектрометра. Оба комплекса проявили каталитическую активность в диапазоне температур от 50°C до 250°C с бензином, при температуре 50°C эксперименты показывают наилучший результат, что позволяет использовать эти соединения в качестве низкотемпературных катализаторов для изомеризации и получения автомобильных бензинов с высоким октановым числом.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ясакова, Е. А. Тенденции развития процесса изомеризации в России и за рубежом / Е. А. Ясакова, А. В. Ситдикова, А. Ф. Ахметов // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2010. – № 1. – С. 24. – EDN MWADCF.
2. Хаимова Т.Г., Мхитарова Д.А. Изомеризация как эффективный путь производства высокооктановых компонентов бензина // Информационно-аналитический обзор. М.: ЦНИИТ Энефтехим, 2005. – 80 с. URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Yasakova/Yasakova\\_1.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Yasakova/Yasakova_1.pdf) (дата обращения 08.04.2024)
3. Silva, A. C., Fernández, T. L., Carvalho, N. M., Herbst, M. H., Bordinhão, J., Horn Jr, A., Antunes, O. A. C. Oxidation of cyclohexane catalyzed by bis-(2-pyridylmethyl) amine Cu(II) complexes. Applied Catalysis A: General. – 2007. – V. 317. – N 2. – P. 154-160. DOI: 10.1016/j.apcata.2006.10.012
4. Shakirova, O.G., Protsenko, A.N., Protsenko, A.E, Kuratieva, N.V., Fowles, S., & Turnbull, M. M. Syntheses, structures and properties of copper (II) and cobalt (II) complexes with 5 (3)-amino-2-chloro-3 (5)-methylpyridine isomer cations. Inorganica Chimica Acta. – 2019. – P. 119-246. DOI: 10.1016/j.ica.2019.119246.

УДК 539.422.32

Янченко Максим Иванович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Yanchenko Maksim Ivanovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University  
Башкова Татьяна Игоревна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Bashkova Tatiana Igorevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

## INVESTIGATION OF STRUCTURAL CHANGES AND FEATURES OF DESTRUCTION OF STRUCTURAL MATERIALS DURING LOW CYCLE FATIGUE

Аннотация. Данная статья посвящена структурным изменениям и разрушениям конструкционных материалов в процессе эксплуатации, а именно – малоциклового усталости. Цель работы – изучить структурные изменения конструкционных материалов, возникающих во время эксплуатации в процессе малоциклового усталости.

Abstract. This article is devoted to structural changes and destruction of structural materials during operation, namely low-cycle fatigue. The purpose of the work is to study the structural changes in structural materials that occur during operation in the process of low-cycle fatigue.

Ключевые слова: конструкционные материалы, структурные изменения, малоцикловая усталость.

Keywords: construction materials, structural changes, soldering process, low cycle fatigue.

## Введение

В настоящее время активно исследуются свойства конструкционных материалов, применяемых в агрессивных условиях. Особое внимание уделяется изучению структурных изменений и особенностей разрушения. Эти исследования имеют высокую актуальность в свете стремления промышленности снизить затраты на оборудование и увеличить его срок службы между ремонтами. Главной задачей является минимизация воздействия внешних факторов на материалы и уменьшение их предрасположенности к разрушению под воздействием условий окружающей среды. Эти факторы включают в себя коррозию, эрозию, механические деформации и усталостные разрушения, последние из которых требуют особого внимания и глубокого изучения.

Усталостное разрушение возникает по причине постепенного накопления повреждений, таких как трещины, в связи с воздействием циклических напряжений. Различают многоцикловую, малоцикловую, термическую, коррозионную и поверхностную усталости. В данной работе освещается тема малоциклового усталости, при которой разрушение возникает при определённых величинах нагрузок. Малоцикловая усталость материалов проявляется в разрушении, происходящем в пределах  $10^4$ - $10^5$  циклов. Этот вид разрушения наблюдается, когда в течение циклического воздействия происходит постепенное нарастание микрповреждений на уровне дислокаций, что впоследствии приводит к формированию субмикротрещин и микротрещин, и, наконец, к распространению магистральной трещины, вызывающей окончательное разрушение материала. Низкая усталость наблюдается в условиях, когда происходит постепенное накопление микрповреждений на уровне дислокаций в течение циклического воздействия, ведущее к образованию субмикротрещин, микротрещин, и, в конечном итоге, к росту магистральной трещины, что приводит к окончательному разрушению материала [1, 2]. Пластическая деформация играет ключевую роль в формировании петель гистерезиса, которые связывают деформацию и напряжение в материале. Область, ограниченная этими петлями, пропорциональна энергии, поглощенной материалом в течение одного цикла нагрузки. В экспериментах по малоциклового усталости материал испытывают либо под жесткой нагрузкой (при постоянном уровне деформации), либо под мягкой нагрузкой (при постоянной амплитуде). Материал упрочняется при увеличении амплитуды напряжений (при постоянных значениях), а разупрочняется при уменьшении амплитуды циклической нагрузки (также при постоянных значениях) [3].

Циклическое упрочнение материалов протекает и тогда, когда кривая циклической деформации, построенная в системе координат, лежит выше подобной кривой, полученной при статическом нагружении, а циклическое разупрочнение происходит при условии расположения кривой, полученной при усталости, ниже, той, что получена при статическом нагружении. В этом случае напряжение релаксируют. В условиях мягкого нагружения упрочняющегося материала петля гистерезиса с увеличением числа циклов сужается. При таком же режиме нагружения для разупрочняющегося материала петля гистерезиса, наоборот, расширяется. Существуют также циклически стабильные материалы.

Для материала, упрочняющегося со временем, режим жесткой нагрузки обычно приводит к быстрому разрушению, в отличие от режима мягкой нагрузки. В случае разупрочняющегося материала наблюдаются противоположные результаты. Подобный режим нагрузки может способствовать увеличению средней пластической деформации за цикл. Для оценки условий малоциклового усталости Л.Л. Коффин предложил эмпирический критерий разрушения. При мягкой нагрузке средняя деформация за цикл может увеличиваться с увеличением числа циклов. В данном контексте учитываются два типа повреждений: статические и усталостные. Основное внимание в исследованиях малоциклового усталостного разрушения уделяется работам С.В. Серенсена. Разруше-

ние конструкционных материалов может происходить по одному из двух путей: оно может быть пластичным или хрупким. Эта классификация основана на том, могут ли в материале создаваться пластические деформации. Для пластичных материалов характерны большие пластические деформации, когда материалы поглощают большую энергию деформирования до наступления разрушения. При хрупком разрушении, напротив, пластические деформации либо отсутствуют, либо они очень малы и поглощения энергии до разрушения не происходит. «Пластичность» и «хрупкость» - это лишь условные термины, а то, каким образом разрушение происходит в действительности, зависит от конкретных условий, в которых эксплуатируется материал.

### **Заключение**

Исследования разрушения конструкционных материалов в процессе малоцикло-вой усталости имеют важное значение для промышленности, особенно в областях, где материалы подвергаются циклическим нагрузкам, таким как авиация, автомобилестроение и судостроение.

Экспериментальные методы, такие как циклическое испытание на разрыв, могут использоваться при изучении процесса малоцикло-вой усталости и определения параметров, таких как предел усталости и характеристики повреждений. Моделирование и численное симулирование также играют важную роль в понимании механизмов разрушения и разработке стратегий предотвращения усталостных повреждений [4].

Важно учитывать множество факторов, влияющих на малоцикло-вую усталость, таких как химический состав материала, микроструктура, температура окружающей среды и скорость деформации. Понимание этих факторов помогает разработать более эффективные материалы и конструкции с улучшенной устойчивостью к усталостным повреждениям.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Зарецкий, В. В. Прикладная механика. Детали машин и основы конструирования : учебное пособие / В. В. Зарецкий ; В. В. Зарецкий ; М-во образования и науки РФ, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Санкт-Петербургская гос. лесотехническая академия им. С. М. Кирова", Каф. теории механизмов, деталей машин и подъемно-транспортных устройств. – 2-е изд., перераб.. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургская гос. лесотехническая акад., 2010. – ISBN 978-5-9239-0275-4. – EDN QNCQHP.

2. Results of Cyclic-Strength Investigation of Developed Cutting Ceramic / A. I. Pro-nin, V. V. Myl'nikov, S. V. Veselov, D. A. Val'ko // Glass and Ceramics. – 2022. – Vol. 79, No. 5-6. – P. 222-224. – DOI 10.1007/s10717-022-00488-z. – EDN TESDKU.

3. Горбовец, М. А. Испытания конструкционных металлических материалов на скорость роста трещины усталости в коррозионно-активной среде (обзор) / М. А. Горбовец, И. А. Ходинев, С. А. Монин // Труды ВИАМ. – 2022. – № 12(118). – С. 135-144. – DOI 10.18577/2307-6046-2022-0-12-135-144. – EDN CQSCQU.

4. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний материалов. Методы испытаний на усталость. Изд - во Стандартов, 1980, 9 с.

УДК 62-112.813.6

Янченко Кристина Романовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Yanchenko Kristina Romanovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Калугина Анна Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kalugina Anna Alekseevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

Башкова Татьяна Игоревна, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bashkova Tatyana Igorevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗЪЕМНЫХ ПАЯНЫХ МУФТОВЫХ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ С ЦЕЛЬЮ УСТАНОВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ПАЙКИ**

### **INVESTIGATION OF NON-REMOVABLE SOLDER COUPLINGS OF STAINLESS STEEL PIPELINES IN ORDER TO ESTABLISH FACTORS AFFECTING THE QUALITY OF SOLDERING**

Аннотация. Данная статья посвящена нержавеющей стали 12Х18Н10Т, известной своей высокой прочностью, долговечностью и отличной коррозионной стойкостью.

Цель работы – показать достоинства и эффективность применения стали 12Х18Н10Т в различных отраслях производства.

Abstract. This article is devoted to stainless steel 12Х18Н10Т, known for its high strength, durability and excellent corrosion resistance. The purpose of the work is to show the advantages and effectiveness of the use of 12Х18Н10Т steel in various industries.

Ключевые слова: муфтовое соединение, нержавеющая сталь, процесс пайки, промышленность.

Key words: coupling connection, stainless steel, soldering process, industry.

#### **Введение**

Муфтовое соединение трубопроводов из нержавеющей стали представляет собой одно из наиболее прочных, надежных и долговечных методов соединения. Данный способ пригоден в различных отраслях, например, в таких как нефтегазовая, химическая, пищевая, фармацевтическая промышленность, энергетика, медицина и даже используется в бытовых целях. Неразъемные паяные муфтовые соединения состоят из двух соединительных элементов – муфты и трубы. Муфта производится из того же материала, что и труба, и обладает конусной или цилиндрической формой. Перед пайкой поверхности муфты и трубы тщательно очищаются от окислов и загрязнений. [1-2]

Процесс пайки муфтового соединения проводится с применением особых паяных материалов, таких как припой на базе серебра, меди или же луженого меди. При достижении некоторой температуры паяного материала, он плавится и заполняет пространство между муфтой и трубой. После охлаждения соединение становится крепким и герметичным. Наиболее прочным и хорошо обрабатываемым материалом является сталь 12Х18Н10Т.

#### **Основная часть**

Основными легирующими элементами стали 12Х18Н10Т являются хром и никель, но помимо них в состав материала так же входят такие элементы, как титан, марганец, кремний, фосфор, сера, молибден, ванадий. Сочетание количественного и качественного соотношения легирующих элементов придает стали высокую стойкость к коррозии и способность сохранять свои механические свойства при температурах до 900°С. Достаточно большой процент хрома (17-19 %) обуславливает её способность к пассивации, и увеличивает её антикоррозийные качества. Добавка никеля (9-11 %) позволяет присвоить данной стали класс аустенитов. Благодаря этому сталь марки 12Х18Н10Т характеризуется отличным сочетанием технологических качеств нержавеющей сталей и отличных эксплуатационных свойств, таких как износостойкость, коррозионная стойкость. [1] Легирующий элемент – титан, в составе сплава имеет



карбидообразующий эффект, что предотвращает образование межкристаллитной коррозии. Кремний в этом сплаве, процент которого не превышает 0,8 %, способствует повышению его плотности, и служит для раскисления стали. Увеличивает плотность сплава и его показатель текучести. [3]

В основном данная сталь производится методом изготовления токамаи высокой частоты (ТВЧ). Этот метод является одним из способов нагрева и обработки металла. Он широко применяется в промышленности для получения высококачественной стали с повышенными механическими свойствами.

Факторы, влияющие на качество паяных соединений из стали 12X18H10T [2]:

1. Выбор паяного материала, такого как припой на основе серебра, меди или луженой меди, играет важную роль в обеспечении прочности и герметичности соединения.

2. Тщательная очистка поверхностей муфты и трубы от окислов и загрязнений перед процессом пайки существенно влияет на качество соединения.

3. Точное соблюдение температурного режима и времени пайки необходимо для достижения оптимального расплавления паяного материала и обеспечения качественного заполнения пространства между муфтой и трубой.

4. Применение специализированного оборудования для проведения процесса пайки обеспечивает более стабильные и повторяемые результаты.

Учитывая эти факторы, можно обеспечить высокое качество и надежность паяных соединений из стали 12X18H10T в различных отраслях промышленности и бытовых целях.

### **Заключение**

В заключении подчеркнем преимущества стали 12X18H10T [2]:

1. Прочность и надежность - эта сталь обеспечивает высокую прочность и надежность муфтовых соединений, что делает её идеальным выбором для различных изделий. К изделиям, которые обычно изготавливают из стали 12X18H10T, относятся: химические реакторы и аппараты, пищевое оборудование; медицинское оборудование; трубопроводы и соединительные детали; авиационное и космическое оборудование; теплообменники и оборудование для нефтегазовой промышленности.

2. Высокая коррозионная стойкость - благодаря своим уникальным характеристикам, сталь обладает отличной коррозионной стойкостью, что делает её идеальным решением для работы в разнообразных средах, таких как химические (включая многие кислоты, щелочи и растворы солей), пищевые, с высокими температурами и в агрессивных условиях нефтегазовой промышленности.

3. Универсальное применение - этот материал подходит для использования в широком спектре отраслей, таких как, авиационная, нефтегазовая, химическая, пищевая, медицинская, и другие промышленности.

Сталь 12X18H10T отличается не только своей прочностью и долговечностью, но и способностью адаптироваться к различным условиям эксплуатации, что делает её идеальным выбором для различных инженерных решений.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Шишкин, Г. М. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением : Учебное пособие для студентов факультета механизации сельского хозяйства / Г. М. Шишкин, В. А. Беломестных ; Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. – Иркутск : Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, 1997. – 52 с. – EDN RPHNLF.

2. Сварка и свариваемые материалы : Справочник в трех томах / В. Н. Волченко, Э. Л. Макаров, В. В. Шип [и др.]. Том I. – Москва : Металлургия, 1991. – 528 с. – ISBN 5-229-00816-4. – EDN XYAVSN.

3. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. - М.: Изд - во Стандартов. 1980, 63 с.

4. ГОСТ 9467-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы. -М.: Изд - во стандартов, 1975, 9 с.

**СЕКЦИЯ**

**АВТОМАТИКА, ЭЛЕКТРОПРИВОД И РОБОТОТЕХНИКА**

УДК 62-503.54

Алтухов Сергей Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Altukhov Sergey Evgenevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Стельмашук 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

## **РЕАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ КОМПЕНСАЦИЯ СКОРОСТНОЙ ОШИБКИ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТИПОВОЙ НАСТРОЙКОЙ**

### **REAL-DIFFERENTIATING COMPENSATION OF THE SPEED ERROR OF THE TRACKING ELECTRIC DRIVE WITH A TYPICAL SETTING**

Аннотация. Посвящено решению проблемы технической реализации дифференцирующего компенсатора скоростной ошибки следящего электропривода реально-дифференцирующим звеном. Проведено моделирование следящей системы в линеаризованном виде и с учетом ограничений на ток якоря и сигнала управления силовым преобразователем.

Abstract. It is devoted to solving the problem of the technical realization of a differentiating compensator for the tracking electric drive speed error using a real differentiator. The simulation of the tracking system in a linearized and limited current and control signal of the power converter is carried out.

Ключевые слова: комбинированное управление, моделирование, интегральное насыщение.  
Key words: combined control, simulation, windup.

#### **Введение**

Одним из эффективных средств повышения точности следящей системы является применение комбинированного управления [1], которое позволяет устранить скоростную ошибку следящего электропривода (СЭП). Такой способ компенсации скоростной ошибки используется в станочных электроприводах с числовым программным управлением [2]. Также может использоваться в других высокودинамичных системах, таких как СЭП движения транспортных роботов [3] судовых или аэродромных радиолокаторов [4].

Система комбинированного управления СЭП состоит из системы подчинённого регулирования с контуром положения и компенсирующего канала, обеспечивающего инвариантность относительно сигнала управления. Компенсирующий канал реализуется дифференцирующим звеном (Д-компенсатор). Основным недостатком при реализации производного от сигнала являются трудности в технической реализации дифференцирующего звена [1; 5]. В статье рассматривается возможность реализации компенсирующего канала реально-дифференцирующим звеном (РД-компенсатор), который является простым в технической реализации.

#### **Основная часть**

Структурная схема системы комбинированного управления СЭП представлена на рисунке 1. Контур тока настраивается на модульный оптимум с малой постоянной времени  $T_\mu$  без учёта влияния внутренней обратной связи двигателя. Контур скорости может настраиваться как на модульный оптимум [1; 6], так и на симметричный оптимум [5]. В рамках статьи рассматривается настройка контура скорости на симметричный оптимум с фильтром на входе контура. Это даёт нулевую ошибку воспроизведения угла, вызванную изменением момента нагрузки [5].

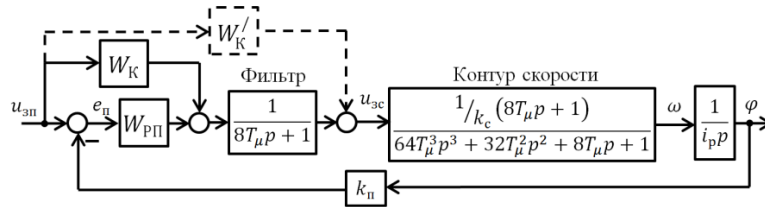


Рисунок 1 – Система комбинированного управления СЭП:  $\omega$  – скорость двигателя;  $\varphi$  – угол поворота вала механизма;  $W_{РП}$ ,  $W_K$ ,  $W_K'$  – передаточные функции регулятора положения, Д-компенсатора и РД-компенсатора

Передаточная функция Д-компенсатора [5]:

$$W_K(p) = \frac{k_c i_p}{k_n} p,$$

где  $i_p$  – оптимальное передаточное число редуктора [7];  $k_n$ ,  $k_c$  – коэффициенты усиления датчиков положения и скорости.

Для преобразования дифференцирующего звена  $W_K$  в реально-дифференцирующее  $W_K'$  выполним перенос сумматора через фильтр, т.е. на входе контура скорости как представлено пунктиром на рисунке 1. В результате передаточная функция РД-компенсатора:

$$W_K'(p) = W_K(p) \frac{1}{8T_\mu p + 1} = \frac{k_c i_p p}{k_n (8T_\mu p + 1)} = \frac{k_c i_p}{8T_\mu k_n} \cdot \frac{8T_\mu p}{8T_\mu p + 1}.$$

Структурная схема РД-компенсатора представлена на рисунке 2. Видно, что РД-компенсатор состоит из пропорционального и интегрирующего звена и не содержит дифференцирующих звеньев, что обеспечивает простоту технической реализации.

Для проверки качества работы СЭП с РД-компенсатором скоростной ошибки проведено моделирование линеаризованной модели СЭП и с учетом ограничений на ток якоря и сигнал управления на входе силового преобразователя. Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

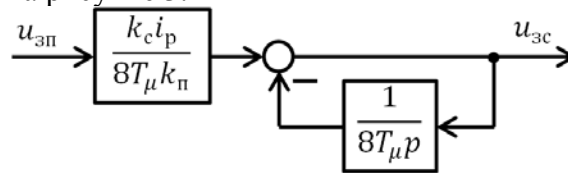
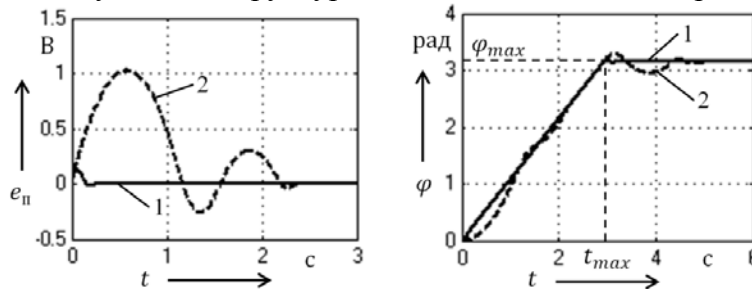


Рисунок 2 – Структурная схема РД-компенсатора



1 – линеаризованная система; 2 – с учетом ограничений

Рисунок 3 – Динамические характеристики СЭП:  $e_п(t)$  – сигнал ошибки контура положения при линейно-возрастающем сигнале задания положения;

$\varphi(t)$  – угол вала механизма при трапецевидном сигнале задания

Величина скорости возрастания сигнала задания положения  $u_{зп}(t) = \alpha_n t$  определяется исходя из условия достижения угла поворота вала механизма  $\varphi(t)$  до задающего угла  $\varphi_3(t)$  на этапе разгона двигателя до номинальной скорости двигателя  $\omega_n$ , т.е.  $\varphi_3(t_1) = \varphi(t_1)$ , где  $t_1 = \omega_n / \varepsilon_{max}$  – момент времени когда скорость двигателя достигнет  $\omega_n$ ;  $\varepsilon_{max} = \frac{M_{max} - M_n}{J_\Sigma}$  – максимальное ускорение двигателя при номинальной нагрузке  $M_n$ .

Тогда:

$$\frac{\alpha_{\text{п}}}{i_{\text{р}}} t_1 = \frac{\varepsilon_{\text{max}}}{2i_{\text{р}}} t_1^2.$$

Подставляя выражение для  $t_1$  и выражая  $\alpha_{\text{п}}$ , получим:

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{k_{\text{п}} \omega_{\text{н}}}{2i_{\text{р}}}.$$

При изменении сигнала  $u_{\text{зп}}$  со скоростью  $\alpha_{\text{п}}$  вал механизма повернётся на максимально заданный угол поворота  $\varphi_{\text{max}}$  за время:

$$t_{\text{max}} = \frac{2i_{\text{р}}}{\omega_{\text{н}}} \varphi_{\text{max}}.$$

### Заключение

Результаты моделирования показали полное соответствие СЭП с Д-компенсатором и СЭП с РД-компенсатором как в линеаризованном виде, так и с учетом ограничений на ток якоря и сигнал управления. Ограничения необходимо выполнять с компенсацией интегрального насыщения, как в ПИ-регуляторе скорости, так и в ПИ-регуляторе тока якоря [8]. На рисунке 3 видно, что скоростная ошибка нулевая т.к. в установившемся состоянии  $e_{\text{п}} = 0$ . Причем время достижения нулевой ошибки меньше чем время полного поворота вала механизма.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Башарин, А. В. Управление электроприводами : учебное пособие для вузов / А. В. Башарин В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский – Ленинград : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с.
2. Дерюжкова, Н. Е. Расчеты по автоматизированному электроприводу металло-режущих станков : учеб. пособие / Н. Е. Дерюжкова, В. Ф. Горячев – Хабаровск : Хабаровский политехн. ин-т, 1985. – 90 с.
3. Каунг, Х. С. разработка и исследование электропривода главного движения транспортного робота / Х. С. Каунг, В. А. Егоров // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 14 июня 2019 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. – С. 145-150. – EDN GPJAMR.
4. Радиотехнические системы : Учебное пособие / О. Г. Морозов, Г. И. Щербатов, М. Ю. Застела [и др.]. – 3-е изд., пер. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 1 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-06598-5. – EDN FFCSGJ.
5. Горячев, В. Ф. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие / В. Ф. Горячев, Н. Е. Дерюжкова ; В. Ф. Горячев, Н. Е. Дерюжкова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Комсомольский-на-Амуре гос. технический ун-т". – Комсомольск-на-Амуре : КНАГТУ, 2011. – ISBN 978-5-7765-0778-6. – EDN QMWKHN.
6. Стельмашук, С. В. Синтез следящего электропривода с контуром скорости, настроенного на модульный оптимум / С. В. Стельмашук, В. А. Бунаков // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2016. – Т. 1, № 4(28). – С. 54-62. – EDN XEBNIP.
7. Смирнова, В. И. Основы проектирования и расчета следящих систем : Учебник для техникумов / В. И. Смирнова, Ю. А. Петров, В. И. Разинцев – Москва : Машиностроение, 1983. – 295 с.
8. Автомонов, С. А. Системы автоматического регулирования с компенсацией интегрального насыщения / С. А. Автомонов, С. В. Стельмашук // 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.

УДК 62-83

Ашрафджонзода Шамситабрези, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ashrafdzhonzoda Shamsitabrezi, undergraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Азимов Хурсандмурод Хакимович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Azimov Hursandmurod Hakimovich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИВОДА ВОЗВРАТНО – ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK**

### **INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF THE RECIPROCATING MOTION DRIVE ON A MATHEMATICAL MODEL IN THE MATLAB SIMULINK ENVIRONMENT**

Аннотация. В данной статье рассмотрены динамические процессы и метод настройки на модульный оптимум. Смоделирована математическая модель преобразователя частоты (ПЧ) асинхронного двигателя (АД) с обратной связью по току и скорости. Рассмотрены динамические характеристики привода при указанных тестовых сигналах и ограничениях по координатам (ток/момент, скорость, положение).

Annotation. This article discusses dynamic processes and the method of tuning to the modular optimum. A mathematical model of a frequency converter (IF) of an asynchronous motor (AD) with current and speed feedback has been modeled. The dynamic characteristics of the drive under the specified test signals and coordinate constraints (current/torque, speed, position) are considered.

Ключевые слова: возвратно-поступательное движение, математическая модель, Simulink, динамические характеристики привода, векторная система управления преобразователь частоты.  
Keywords: reciprocating motion, mathematical model, Simulink, dynamic characteristics of the drive, vector control system frequency converter.

#### **Введение**

Изучение динамики привода возвратно-поступательного движения, занимающее центральное место в исследованиях мехатронных систем, выступает отправной точкой для реализации научного анализа, целью которого является выявление путей повышения эффективности работы устройств и механизмов [5; 6]. Аналитический обзор полученных с помощью данной модели результатов подтверждает возможность улучшения работы системы через уточнение параметров управления и подбора оптимальных характеристик. Процедура анализа включает в себя декомпозицию переходных процессов, оценку устойчивости системы, а также амплитудно-частотные характеристики [4]. Следует подчеркнуть, что исследование динамики привода возвратно-поступательного движения является актуальной и важной задачей; исследование динамики привода может привести к разработке новых методов управления системой и улучшению ее характеристик.

Динамика привода включает в себя анализ сил и моментов, действующих на привод, расчет силовых характеристик и определение таких параметров, как ускорение, скорость и силы, действующие на привод и его компоненты.

#### **Моделирование система ПЧ АД в среде Simulink**

Для моделирования электропривода возьмем за основу структурную схему системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель (АД) с обратной связью по току и скорости», которая представлена на рисунке 1 [1]. При моделировании можно быстро проверить реакцию системы на другие типовые виды воздействий, как по управлению, так и по нагрузке (линейное с разным ускорением, синусоидальное, случайное) [2].

Следствием такого подхода к исследованию является возможность оптимизации управляющих сигналов и точности движения механизмов, что в целом способствует повышению производственной эффективности [2].

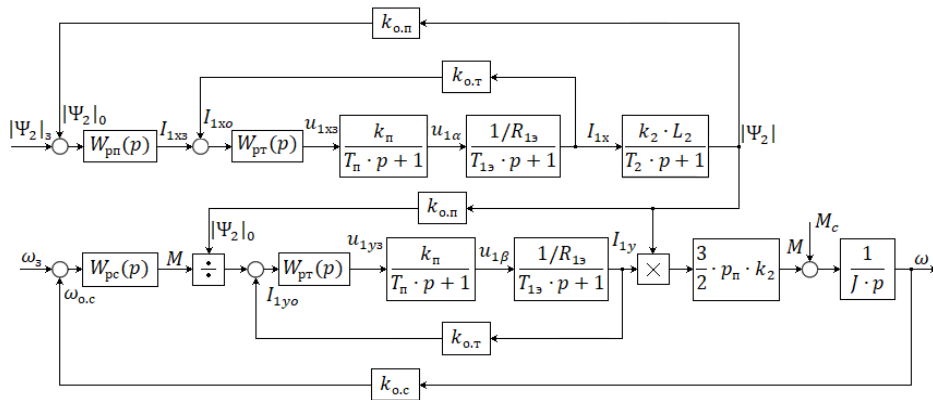


Рисунок 1 – Структурная схема ПЧ-АД при векторной системе управления

Структурная схема системы [1], предназначенной для определения структуры и параметров регуляторов и расчета переходных процессов и графиков переходных процессов со ступенчатым изменением задания, и нагрузки с использованием задатчика интенсивности и без него, показана на рисунках 1-2.

Схема построена с применением математического описания ненасыщенного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат. Преобразователь характеризуется коэффициентом передачи напряжения и чистой задержкой  $\tau$ , равной амплитуде ШИМ-инвертора [3; 4]. Рассматриваются значения  $M_{двиг}$  и  $\psi_{двиг}$ , определенные в модели потока, точно воспроизводят электромагнитный крутящий момент двигателя  $M_{двиг}$  и проточную муфту ротора  $\psi d$  в масштабе, характеризующемся коэффициентами передачи обратной связи с точки зрения крутящего момента и проточной муфты ротора  $k_{дат-момента}$  и  $k_{дат-тока}$ . Датчик скорости имеет коэффициент пропускания  $k_{дат-скор}$  [5].

Таблица 1 – Технические данные АД с короткозамкнутым ротором серия ДАР 5684А4У3

Параметры	Значение
Номинальная мощность, $R_{ном}$ , кВт	0,18
Номинальное напряжение сети, $U_{1л}$ , В	380
Номинальная частота питающей сети, $f_c$ , Гц	50
Синхронная частота вращения, $n$ , об/мин	1500
Момент инерции, $J_{дв}$ , кг*м	0,0008
КПД, %	84,5
Коэффициент мощности, $\cos\varphi_{ном}$	0,88

Ниже приведены динамические характеристики привода при указанных тестовых сигналах и ограничениях по координатам (ток/момент, скорость, положение).

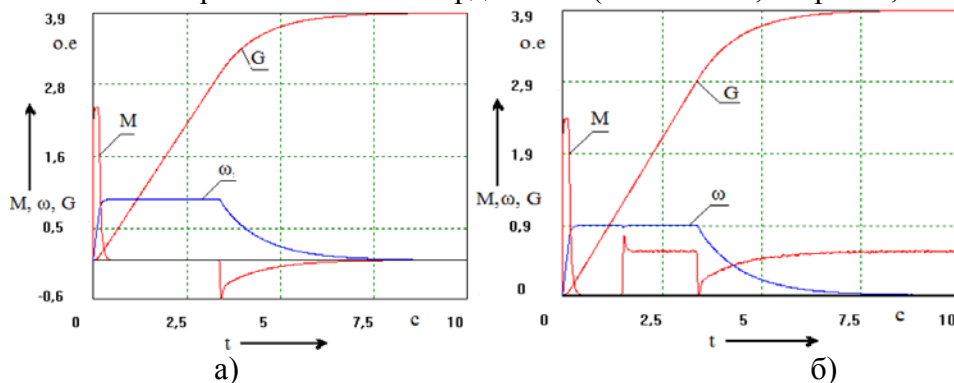


Рисунок 2 – Графики изменения скорости, момента и положения на холостом ходу с ограничением момента и скорости положения (а) и с ограничением момента при ступенчатом изменении нагрузки (б)

## Заключение

Сделанные выводы на основе математической модели утверждают, что детальное понимание характеристик привода в режиме возвратно-поступательного движения может служить основой для улучшения функционирования мехатронических систем. Будущие исследования, предполагающие апробацию теоретических решений на практике и разработку инновационных методов управления, обещают открытие новых горизонтов в области мехатроника и робототехники [5].

Разгон привода на холостом ходу и под номинальной нагрузкой выполняется с заданным ускорением за время не более 1с. Колебания момента в переходных процессах находятся в пределах перегрузочной способности двигателя и преобразователя и не превышают 2Мн, при этом динамическое падение скорости не превышает 3 %, время восстановления составляет около 0,1 с. Привод обеспечивает хорошую точность позиционирования, погрешность не превышает 1 мм, что соответствует технологическим требованиям.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Герман-Галкин, С. Г. Matlab & simulink: проектирование мехатронных систем на ПК: учебное пособие для студентов высших и средних учебных заведений / С. Г. Герман-Галкин; С. Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург: Корона.Век, 2011. – 367 с. – ISBN 978-5-7931-0884-3. – EDN QMWLVH.

2. Герман-Галкин, С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие / С. Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург: Корона принт, 2007 – 320 с.

3. Азимов, Х. Х. Моделирование электропривода тянуще-правильной машины / Х. Х. Азимов, А. С. Мешков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 7-11. – EDN BKUDVD.

4. Терёхин, В. Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В. Б. Терёхин // Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.

5. Дружинин, В. А. 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.

6. Ким, К. К. Алгоритмические основы исследования электромагнитных процессов в электроприводе герметичной задвижки / К. К. Ким, С. Н. Иванов, Х. Х. Азимов // Российская Арктика. – 2024. – Т. 6, № 1(24). – С. 14-25. – DOI 10.24412/2658-4255-2024-1-14-25. – EDN QSQPPC.



УДК 681.5

Ашрафджонзода Шамситабрези, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ashrafdzhonzoda Shamsitabrezi, 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

## **ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ**

### **REVIEW OF EXISTING WORKS IN THE FIELD OF SOLVING PROBLEMS OF DIRECT AND INVERSE KINEMATICS OF INDUSTRIAL ROBOTS**

Аннотация. В данной статье рассмотрены существующие подходы к решению задач прямой и обратной кинематики промышленных роботов. Произведен анализ вариантов кинематических схем роботов. Рассмотрены примеры компоновок осей серийно изготавливаемых роботов. Выполнен обзор и анализ методов решения прямой и обратной задач кинематики.

Abstract. This article discusses existing approaches to solving problems of forward and inverse kinematics of industrial robots. An analysis of variants of kinematic schemes of robots was carried out. Examples of axle layouts for commercially produced robots are considered. A review and analysis of methods for solving direct and inverse kinematics problems was carried out.

Ключевые слова: промышленный робот, кинематическая схема, прямая задача кинематики, обратная задача кинематики, методы решения задач кинематики.

Key words: industrial robot, kinematic diagram, direct kinematics problem, inverse kinematics problem, methods for solving kinematics problems.

#### **Введение**

Решение задач прямой и обратной кинематики является одной из ключевых проблем в области управления промышленными роботами.

Прямая задача кинематики (ПЗК) заключается в расчете координат положения и ориентации системы координат, связанной со схватом или рабочим инструментом, при заданном наборе обобщенных координат манипулятора. Решение прямой задачи кинематики, как правило, выполняется сначала в позиционном, а затем в собственно кинематическом представлении с параметрическим заданием законов движения выходного звена или нескольких выходных звеньев в зависимости от времени [1]. Обратная задача кинематики (ОЗК) заключается в расчете набора обобщенных координат манипулятора при заданных координатах положения и ориентации конечной системы координат, связанной со схватом или рабочим инструментом [1].

В рамках данной работы будет проведен обзор существующих работ и подходов в области решения задач ПЗК и ОЗК промышленных роботов.

#### **Анализ вариантов кинематических схем промышленных роботов**

Кинематические схемы роботов могут иметь различные элементы, которые обеспечивают движение и функционирование робота.

Рассмотрим основные элементы кинематических схем, которые могут быть использованы в роботах:

- Вращательные оси (изгиб и скручивание);
- Поступательные оси (линейное смещение);
- Колено-рычажные соединения;

Описанные варианты кинематических элементов komponуются в последовательные цепочки с различным чередованием типов. Примеры таких компоновок для некоторых серийно изготавливаемых роботов:

- скручивание-изгиб-изгиб-скручивание-изгиб-скручивание (большинство современных промышленных роботов-манипуляторов);
- скручивание-скручивание-линейное смещение (SCARA-роботы);
- скручивание – изгиб – скручивание – изгиб – скручивание – изгиб – скручивание (семиосевой робот KUKA PWA).

#### **Варианты решения ПЗК промышленных роботов**

В ходе выполнения работы был проведен обзор методов решения ПЗК для промышленных роботов.

*Метод Денавита - Хартенберга.*

В ходе обзора было выявлено, что наиболее распространенным является метод Денавита-Хартенберга. Метод основан на преобразовании матриц и заключается в привязке систем координат к ссылкам и введении так называемых параметров Денавита-Хартенберга. Использование этого метода позволяет сократить количество параметров до четырех [1]. В результате применения способа получается итоговая матрица, соединяющая все системы координат звеньев и состоящая из матрицы вращения и матрицы абсолютных координат, которые определяют положение рабочего органа в пространстве [2; 4].

*Метод Трансформаций Брауна.* Этот метод используется для определения положения эффектора робота в пространстве. Он заключается в преобразовании системы координат от базовой системы координат к системе координат эффектора с помощью матрицы преобразования.

*Метод вычисления матриц преобразования.* В этом методе используются специальные матрицы, называемые матрицами преобразования, для определения положения и ориентации эффектора робота. Этот метод позволяет выразить пространственные координаты эффектора с помощью матриц преобразования между основными звеньями робота.

*Метод Плекера.* Этот метод основан на использовании прямоугольных координатных систем, чтобы определить положение и ориентацию эффектора робота. Он позволяет установить математическое соотношение между прямоугольными координатами и углами поворота звеньев робота.

#### **Варианты решения ОЗК промышленных роботов**

Определение ОЗК заключается в вычислении обобщенных координат для заданных линейных и угловых координат рабочего органа манипулятора. Эта задача сложнее, чем ПЗК, поскольку может привести к неопределенности решения, т.е. одному и тому же набору положений рабочего органа в пространстве могут соответствовать разные конфигурации робота.

Для решения этой задачи используются следующие методы:

*Метод обратных преобразований* промышленного робота представляет собой алгоритм, позволяющий рассчитать значения углов и координат сочленений робота, необходимые для достижения заданной конечной точки (целевой точки) или ориентации инструмента

*Метод Ньютона-Эйлера.* Основная идея метода Ньютона-Эйлера заключается в использовании уравнений Ньютона для каждого звена робота и уравнений Эйлера для каждого сустава. Применяя эти уравнения последовательно, можно определить внешние силы и моменты, а также силы и моменты, создаваемые приводами суставов [2; 3]. Метод Ньютона-Эйлера обеспечивает точное решение обратной задачи динамики и позволяет учитывать нелинейности, инерцию и динамические взаимодействия между звеньями робота [4].

*Итерационные подходы*

Существует несколько итерационных методов для решения обратной задачи кинематики робота. Некоторые из них включают в себя:

*Метод Ньютона-Рафсона.* В этом методе используется итеративный алгоритм с замкнутым циклом. Итеративный алгоритм определяет необходимые изменения углов соединения для достижения дифференциального изменения положения и ориентации конечного исполнительного органа. При наличии цели и набора желаемых поз этот алгоритм начинается с начального предположения, что где-то в непосредственной близости от желаемого решения. Процедура завершается, когда норма приближается к нулю и желаемые позы достигаются.

Матрица доступности, матрица траектории, прямое кинематическое уравнение и обратное кинематическое уравнение могут быть автоматически сгенерированы с использованием алгоритма обхода дерева поиска в глубину, как только цель задана [5].

*Метод Лебедева.* Этот метод является итерационным подходом для решения обратной задачи кинематики для манипуляторов с неизвестными параметрами. Он комбинирует точную (аналитическую) итерационную процедуру с методом наименьших квадратов для получения решения.

Все эти методы позволяют нам поэтапно подходить к решению общей задачи кинематики робота, обновляя текущее приближение с использованием различных алгоритмов и итераций. Итерационные подходы особенно полезны при наличии нелинейностей в кинематической модели робота или при неизвестных параметрах.

#### **Нейросетевые подходы**

В последнее время все большую популярность набирают методы решения ОЗК с использованием нейросетевых подходов, реализующих прогнозирование значений углов поворота суставов робота на основе заданных координат.

Входные данные для обучения нейронной сети можно решать несколькими способами. Как с использованием подхода «Programming by demonstration», так и с помощью решения прямой задачи кинематики. Примером использования нейросетевого подхода может служить работа [6], в которой решение прямой задачи кинематики реализовывалось с помощью пакета Matlab и компьютерной модели манипулятора, построенной на основе подхода Денавита – Хартенберга. Результаты расчета подавались на вход нейронной сети.

#### **Заключение**

Были рассмотрены и проанализированы работы в области решения ПЗК и ОЗК роботов и виды кинематических элементов. Были проанализированы литературные источники, в которых описываются методы решения задач кинематики, в результате чего были выявлены основные методы решения ПЗК и ОЗК. Так же были рассмотрены использование итерационные и нейросетевые подходы для решения ОЗК робота. В дальнейшем найденные работы будут применены при построении математических моделей для решения ПЗК и ОЗК применительно к семиосевому коллаборативному роботу.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Бурдаков, С. Ф., Дьяченко, В. А. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / С. Ф. Бурдаков, В. А. Дьяченко. – Москва : Высшая школа, 1986 – 131 с.
2. Борисов, О. И. Методы управления робототехническими приложениями/ О.И. Борисов, В.С. Громов, А.А. Пыркин. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2016 – 108 с.
3. Колюбин, С. А. Динамика робототехнических систем : Учебное пособие / С. А. Колюбин. - Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2017 - 117 с.
4. Хомченко, В.Г. Робототехнические системы. / В.Г. Хомченко – учебное пособие. – Омск : Омский государственный технический университет, 2016 – 195 с.
5. Inverse kinematics for modular reconfigurable robots I. Chen, Guilin Yang Published in Proceedings. IEEE 16 May 1998 Engineering Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.98CH36146). Чен И.М., Ян Г. Обратная кинематика для модульных реконфигурируемых роботов. Производство. 1998 Международная конференция IEEE по робототехнике и автоматизации. IEEE. 1998; 2:1647-1652. URL: <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1998.677390>.
6. Kutakhin, A. P. Control of multi-link manipulators of a robotic complex using a neural network / A. P. Kutakhin, V. V. Kuzmenko // СТУДЕНЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ 2021: сборник статей II Международной научно-практической конференции. В 2 частях, Пенза, 23 декабря 2021 года. Vol. Часть 1. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2021. – Р. 55-58. – EDN FIUUMK.

УДК 62-83(075)

Башков Данил Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Bashkov Danil Alexeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Горькавый Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Gorkavy Alexander Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate professor of the department "Electric drive and automation of industrial installations", Komsomolsk-na-Amure State University

## МОДАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ЧАСТОТНЫМ СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

### MODAL REGULATION BY ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH FREQUENCY SCALAR CONTROL

Аннотация. В статье рассматривается синтез системы управления скалярным электроприводом переменного тока на принципах модального управления. Производится расчёт коэффициентов модального регулятора, исходя из настройки динамики системы на биномиальную стандартную форму. В качестве двигателя рассматривается трёхфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

Annotation. The article considers the synthesis of a control system for a scalar AC electric drive based on the principles of modal control. The coefficients of the modal regulator are calculated based on the adjustment of the dynamics of the system to the binomial standard form. A three-phase asynchronous electric motor with a short-circuited rotor is considered as an engine.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный двигатель, модальное управление, частотное управление, скалярное управление, векторно-матричное описание

Key words: electric drive, asynchronous motor, modal control, frequency control, scalar control, vector matrix description

#### Введение

В настоящее время асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором являются наиболее часто используемыми в промышленности. Это объясняется простотой их конструкции, хорошей ремонтпригодностью, низкой стоимостью и высокой надёжностью. Основной недостаток асинхронных двигателей – это сложность управления [2]. Решить данную проблему помогло использование данных двигателей в частотно-регулируемом электроприводе, другими словами, применение данных двигателей в паре с преобразователем частоты. Скалярное управление заключается в поддержании постоянства отношения напряжения и частоты. При повышении частоты пропорционально повышается и напряжение. Данный метод управления подходит для большинства асинхронных двигателей и подходит в тех установках, где отсутствуют большие динамические нагрузки. Использование модального регулятора в системе электропривода позволяет достичь желаемых динамических характеристик и увеличить быстродействие системы [5].

#### Основная часть

На рисунке 1 представлена структурная схема асинхронного электропривода со скалярным управлением.

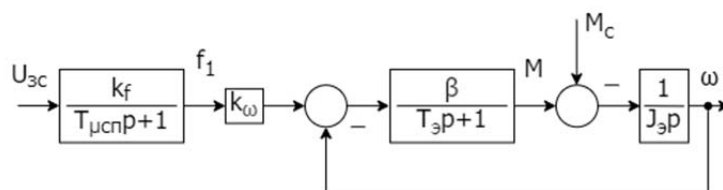


Рисунок 1 – Структурная схема асинхронного электропривода со скалярным управлением

Произведём детализирование данной структурной схемы. На рисунке 2 представлена детализированная структурная схема.

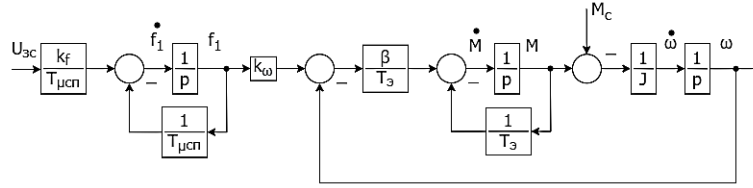


Рисунок 2 – Детализированная структурная схема асинхронного электропривода

В соответствии со структурной схемой (см. рисунок 2) производится векторно-матричное описание, которое представлено в виде системы уравнений.

$$\begin{cases} \dot{\omega}(t) = \frac{1}{J} M(t) - \frac{1}{J} M_c(t); \\ \dot{M}(t) = -\frac{\beta}{T_3} \omega(t) - \frac{1}{T_3} M(t) + \frac{\beta k_\omega}{T_3} f_1(t); \\ \dot{f}_1(t) = -\frac{1}{T_{\mu сп}} f_1(t) + \frac{k_f}{T_{\mu сп}} U_{3c}(t). \end{cases}$$

Составим матрицы входа [3], управления, возмущения и выхода.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{J} & 0 \\ -\frac{\beta}{T_3} & -\frac{1}{T_3} & \frac{\beta k_\omega}{T_3} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_{\mu сп}} \end{pmatrix}; B_u = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k_f}{T_{\mu сп}} \end{pmatrix}; B_m = \begin{pmatrix} -\frac{1}{J} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; C = (1 \quad 0 \quad 0).$$

На рисунке 3 представлена структурная схема системы электропривода с модальным регулятором.

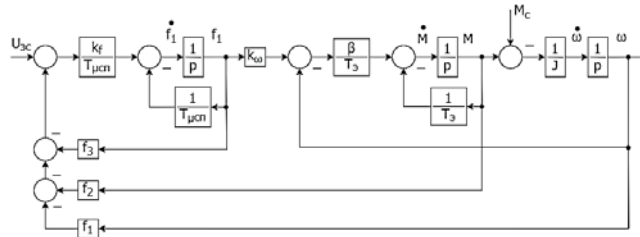


Рисунок 3 – Структурная схема системы электропривода с модальным регулятором

Характеристическая матрица имеет вид:

$$pI - (A - B_u F) = \begin{pmatrix} p & -\frac{1}{J} & 0 \\ \frac{\beta}{T_3} & p + \frac{1}{T_3} & -\frac{\beta k_\omega}{T_3} \\ \frac{f_1 k_f}{T_{\mu сп}} & \frac{f_2 k_f}{T_{\mu сп}} & p + \frac{1}{T_{\mu сп}} + \frac{f_3 k_f}{T_{\mu сп}} \end{pmatrix}.$$

Приравняв определитель характеристической матрицы к биномиальной стандартной форме, вычислим коэффициенты модального регулятора:

$$\begin{cases} \frac{JT_3 + JT_{\mu сп} + Jf_3 k_f T_3}{JT_3 T_{\mu сп}} = 3\omega_0; \\ \frac{J + \beta T_{\mu сп} + Jf_3 k_f + J\beta f_2 k_f k_\omega}{JT_3 T_{\mu сп}} = 3\omega_0^2; \\ \frac{\beta + \beta f_3 k_f + \beta f_1 k_f k_\omega}{JT_3 T_{\mu сп}} = \omega_0^3. \end{cases}$$

Подставляя в данное уравнение числовые значения параметров электропривода, в соответствии с [1], определяются коэффициенты:

$$f_1 = 0,493; f_2 = 0,0105; f_3 = -0,003.$$

Моделирование синтезированной системы электропривода показало соответствие графика переходного процесса с заданной стандартной формой.

#### **Заключение**

В настоящей статье мы рассмотрели замкнутую по скорости систему асинхронного электропривода со скалярным управлением. В качестве двигателя для электропривода был использован асинхронный трёхфазный электродвигателя с короткозамкнутым ротором. Было разработано векторно-матричное описание данной системы. Введён в систему модальный регулятор. Были вычислены коэффициенты модального регулятора. Стоит отметить, что в настоящее время асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором имеют высокую популярность на различных технологических установках ввиду того, что данный двигатель обладает высокой ремонтопригодностью, низкой стоимостью, простой конструкции и высокой надёжностью. Частотное скалярное управление позволяет более эффективно управлять данным типом двигателей [4].

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Дементьев, Ю. Н. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод типовых производственных механизмов : учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, В. М. Завьялов, Н. В. Кояин, Л. С. Удут; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 404 с.

2. 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.

3. Горькавый, А. И. Математические основы элементов, систем и процессов управления : Учебное пособие / А. И. Горькавый, М. А. Горькавый. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2016. – 68 с. – ISBN 978-5-7765-1199-8. – EDN YQBDKY.

4. Соловьёв, В.А. Системы управления электроприводами. Ч. 1: учеб. пособие. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2004. – 153 с.

5. Коротков, М. Ф. Модальное управление асинхронным электроприводом / М. Ф. Коротков, А. Н. Пахомов, А. А. Федоренко // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324, № 4. – С. 69-75. – EDN SFRGYT.

УДК 621.3.078

Бобровский Никита Петрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bobrovskiy Nikita Petrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Хохлов Роман Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Khokhlov Roman Evgenievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Савельева Алена Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyeva Alena Sergeevna, 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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РОБОТА МАНИПУЛЯТОРА**

### **MODELING OF THREE-CIRCUIT CONTROL SYSTEM OF ELECTRIC DRIVE OF MANIPULATOR ROBOT**

Аннотация. В данной статье рассмотрен расчёт и разработка математической модели для электрических приводов, отвечающих за движение робота-манипулятора в трёх координатных осях. Разработана функциональная схема робота, включающая его базу, два плеча и соответствующие электропривода с тремя контурами регулирования.

Abstract. This paper deals with the calculation and development of a mathematical model for the electric actuators responsible for the motion of a robot manipulator in three coordinate axes. A functional diagram of the robot including its base, two arms and corresponding electric drives with three control loops is developed.

Ключевые слова: ПИ-регулятор, модульный оптимум, подчинённый электропривод, робот-манипулятор.

Keywords: PI controller, modular optimum, subordinate regulation electric drive, robot manipulator.

#### **Введение**

Рассмотрение принципов построения режимов управления степенями подвижности манипуляторов, внутренним и внешним периферийным оборудованием в составе роботизированных технологических комплексов (обработка металлов, нанесения герметика, сборки) и компьютерных средств автоматизации в настоящее время представляет собой большой интерес вследствие активного развития информационных технологий и повсеместной автоматизации производств, активно использующих промышленных роботов в самых различных задачах.

Современные примеры интерфейсов компьютерных программ управления электроприводами многосуставных манипуляционных роботов и внешними входными, либо выходными линиями с которыми связаны различные виды технологической оснастки (схваты, поршни, шпиндели) размещаемой на конечном звене манипулятора, а также типовые элементы (цилиндры, клапана, реле), размещаемые в рабочей зоне, позволяют не только добиться высокой точности при перемещении рабочего инструмента робототехническим комплексом, но также обеспечить высокое быстродействие системы.

#### **Основная часть**

Робот-манипулятор состоит из четырёх основных элементов, соединённых последовательно [1]. База робота представляет собой совокупность различных компонентов, которые работают вместе, чтобы придать роботу движение и функциональность. Первое и второе плечо связаны между собой с помощью приводов с базой робота и отвечают за перемещение руки-манипулятора по трём осям. Инструмент – устройство, непосредственно выполняющее определенную предназначенную для него функцию (резка, сверление, обработка и др.) [2]. Обобщенная функциональная схема манипулятора будет выглядеть следующим образом (рисунок 1):

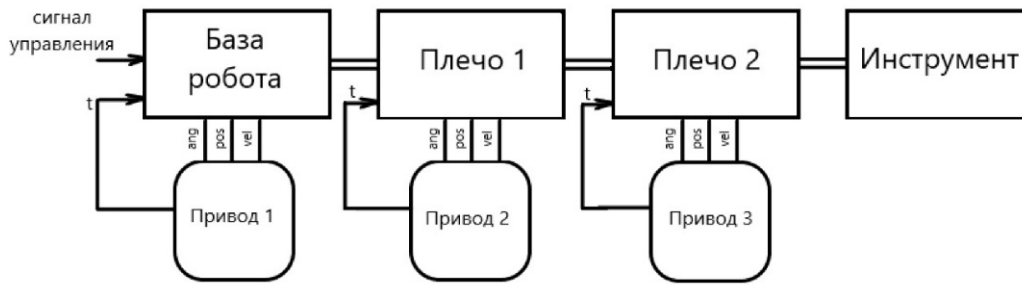


Рисунок 1 – Функциональная схема трехосевого робота-манипулятора

Электропривода, отвечающие за движение робота имеют три контура подчинённого регулирования – контур тока, контур скорости и контур положения. Контур тока включает в себя регулятор тока, тиристорный преобразователь и датчик тока. Контур скорости состоит из замкнутого контура тока, регулятора скорости, интегратора, структурного коэффициента и датчика скорости. В качестве регулятора положения будет использован пропорционально-интегральный регулятор (далее ПИ-регулятор). При этом настройка регуляторов производится по модульному оптимуму. Для построения модели необходимо представить двигатели в виде апериодического звена первого порядка, в котором коэффициент усиления равен отношению  $1/R$ , а постоянная времени равна отношению активного сопротивления цепи якоря к её индуктивности. Тиристорный преобразователь также представляет собой апериодическое звено первого порядка с коэффициентом усиления равным отношению номинального напряжения двигателя к значению управляющего сигнала. Постоянная времени выбирается по справочнику [3]. Все регуляторы настраиваются в соответствии с модульным оптимумом, то есть общие передаточные функции каждого контура должны иметь следующий вид [4]:

$$W_{\text{раз}}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)} \quad (1)$$

где  $T_{\mu}$  – малая постоянная времени.

Для настройки регулятора необходимо умножить передаточную функцию ненастроенного контура на передаточную функцию ПИ-регулятора. Приравняв это произведение к передаточной функции модульного оптимума можно найти коэффициенты усиления и постоянные времени регуляторов. Структурная схема двигателей в среде моделирования SimInTech будет выглядеть следующим образом [5]:

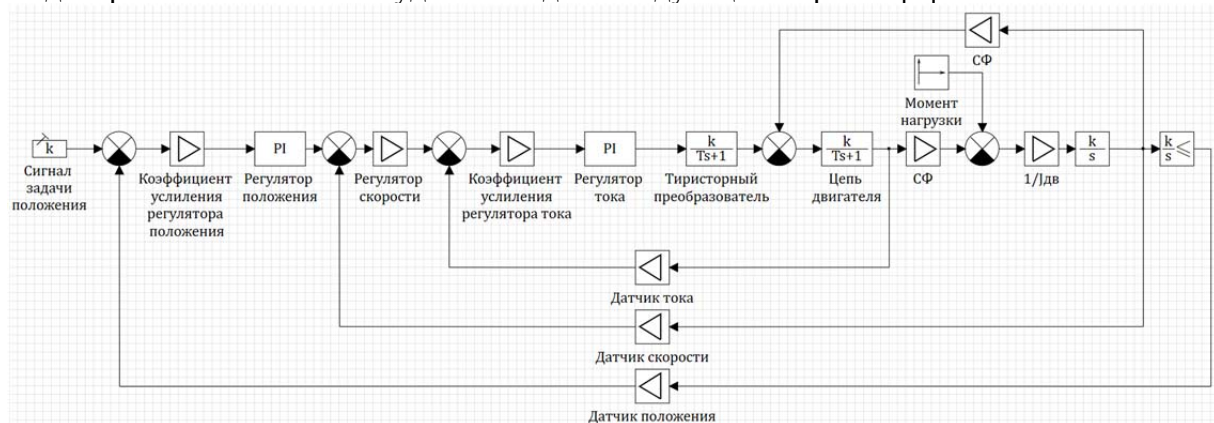


Рисунок 2 – Структурная схема двигателей трехконтурного регулирования

В результате настройки регуляторов система сможет точно выходить на заданные положения и поддерживать их при появлении внешнего воздействия. На рисунках 3 и 4 приведены переходные процессы перемещения и скорости при подаче на вход управляющего сигнала для двигателя, настроенного таким образом:



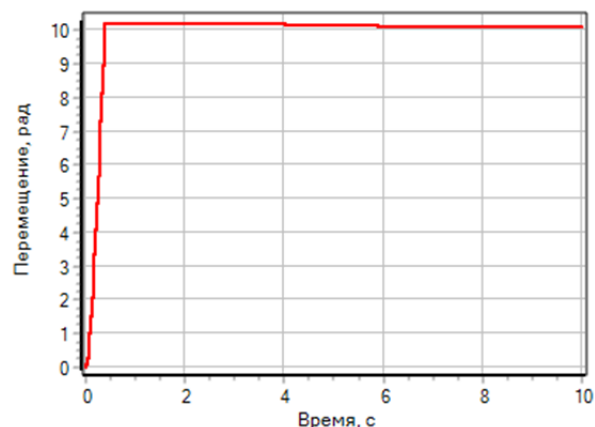


Рисунок 3 – График поворота на заданное количество радиан

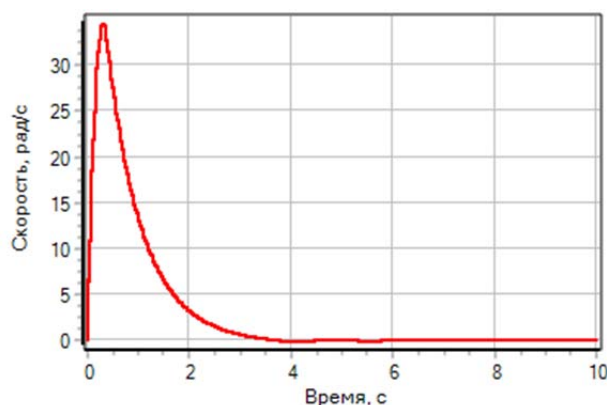


Рисунок 4 – График скорости двигателя

### Заключение

Последовательно-подчиненное регулирование координат электроприводов получило широкое распространение в самых различных сферах применения, это обусловлено рядом важных положительных качеств этих систем. К ним, прежде всего, относятся: простота синтеза регуляторов всех контуров системы; унификация методов расчета, алгоритмов и технических средств управления; стандартизация показателей качества процессов регулирования и ограничения координат; удобство проектирования, комплектации, наладки и эксплуатации электроприводов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Архипов, М. В. Промышленные роботы: управление манипуляционными роботами : учебное пособие для вузов / М. В. Архипов, М. В. Вартанов, Р. С. Мищенко. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 170 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11992-3. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/542650> (дата обращения: 04.03.2024).
2. Шоланов, К.С. Основы мехатроники и робототехники - Учебник для студентов технических специальностей вузов Казахстана. Алматы: издательство «ЭВЕРО», 2015. – 126с.
3. Кояин, Н. В. Оптимизация контуров регулирования систем электропривода по типовым методикам / Н. В. Кояин, О. П. Мальцева, Л. С. Удут // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 7. – С. 120-125. – EDN HROTVV.
4. Калачев, Ю.Н. Системы управления и моделирования электропривода. / Ю. Н. Калачев, Г. Б. Онищенко. – Москва : ДМК Пресс, 2022. – 154 с.: ил.
5. Шрейнер, Р.Т. Системы подчинённого регулирования электроприводов. Часть 1. Электроприводы постоянного тока с подчиненным регулированием координат : Учеб. пособие для вузов. / Р.Т. Шрейнер – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 1997. – 279 с.

УДК 517.977.5

Герашенко 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

## **СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ, РАБОТАЮЩИМ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

### **SYNTHESIS OF A SYSTEM FOR CONTROL OF ELECTROMECHANICAL OBJECT WORKING IN DIFFICULT FUNCTIONING CONDITIONS**

Аннотация. В работе рассматриваются аспекты разработки системы управления электромеханическим объектом, характеризующимся высокой степенью неопределенности и изменчивости внешних и внутренних факторов. Рассмотрены методы синтеза системы управления, а также приведены результаты моделирования работы системы в реальных условиях.

Abstract. The paper deals with the aspects of developing a control system for an electromechanical object characterized by a high degree of uncertainty and variability of external and internal factors. The methods of synthesis of the control system are considered, and the results of modeling of the system operation in real conditions are given.

Ключевые слова: математическая модель, система управления, синтез, адаптивное управление, оптимальное управление

Key words: mathematical model, control system, synthesis, adaptive control, optimal control

#### **Введение**

В процессе функционирования систем управления сложными электромеханическими объектами такими, как манипуляционные механизмы, происходит изменение их инерционных показателей и внешних воздействий, обусловленных как весовыми, так и массогабаритными характеристиками. Системы управления в этих условиях должны обладать как адаптивными свойствами, так и свойствами инвариантности к внешним воздействиям.

Методы модального управления позволяют синтезировать системы с заранее заданными динамическими свойствами. Для решения сформулированных выше проблем управления манипуляционным механизмом необходимо разработать в рамках модального управления подсистему оценки и компенсации внешних воздействий, а также придать системе адаптивные свойства по отношению к изменению инерционности отдельных элементов в процессе функционирования.

Методы пространства состояний включают в себя множество инструментальных средств для синтеза систем управления, позволяющих учитывать свойства объектов управления, условия их функционирования и предъявляемые требования [1-5].

#### **Основная часть**

На рисунке 1 представлена структурная схема, разработанной системы управления электромеханическим объектом второго порядка в которой реализуются адаптивные и инвариантные свойства.

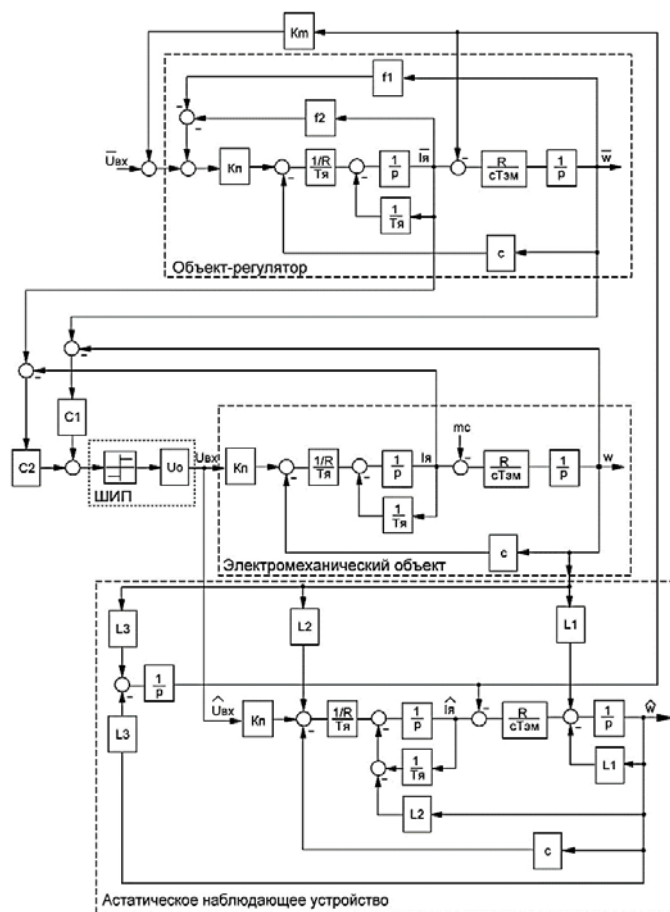


Рисунок 1 – Структурная схема модели системы управления электромеханическим объектом

Синтез системы управления производится на трёх уровнях. На первом уровне производится расчет модели системы управления на принципах модального подхода с возможной компенсацией внешнего воздействия при его измерении или оценке [1-5]. На рисунке 2 показан график переходного процесса по задающему воздействию. Как видно, система не обладает робастными свойствами.

На втором уровне формируется управление реальным объектом с организацией скользящего режима по ошибкам реальных координат и координат моделей системы управления.

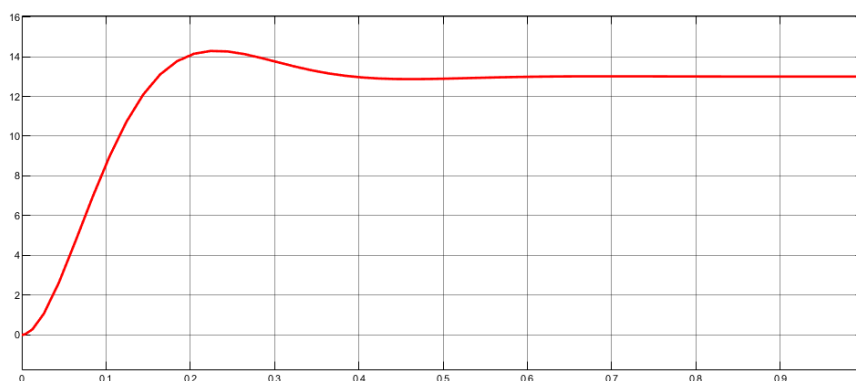


Рисунок 2 – График переходного процесса объекта по задающему воздействию

На третьем уровне строится астатическое наблюдающее устройство, оценивающее неконтролируемое возмущение в статическом режиме [1]. Компенсация возмущения осуществляется непосредственно в модели-эталоне, как показано на структурной схеме (рисунок 3).

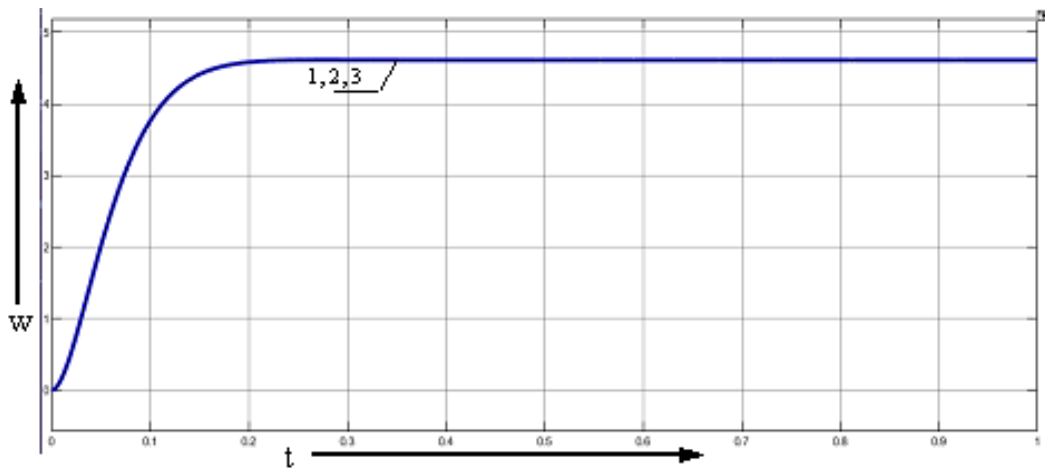


Рисунок 3 – График переходного процесса модели синтезированной системы по задающему воздействию:

1 – модель-эталон, 2 – объект, 3 – астатическое наблюдающее устройство

Из графиков переходных процессов (рисунок 3) следует, что в системе компенсируется действие возмущения  $m_c$  в установившемся режиме. Система обладает астатическими и робастными свойствами, обеспечивая заданные показатели качества управления.

При настройке модели эталона по критерию оптимальности [7], полученная система приобретает оптимальные свойства. Коэффициенты регулятора  $C1$  и  $C2$  могут либо подбираться, либо рассчитываться исходя из оптимального движения системы по поверхности переключения [5].

#### Заключение

Сформированная система управления электромеханическим объектом обладает адаптивными свойствами по отношению к изменению момента инерции и частично инвариантными по отношению к возмущающему воздействию, может настраиваться на различное быстродействие и виды переходных процессов. Результаты моделирования подтвердили расчетные качества системы управления. Предложенный вариант синтеза может использоваться при построении систем управления мехатронными модулями промышленных роботов функционирующих в составе робототехнических комплексов и технологических линий, к которым предъявляются высокие требования.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кузовков, Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства: учеб. пособие / Н. Т. Кузовков. – Москва : Машиностроение, 1976. – 184 с.
2. Мирошник, И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы: учеб. пособие / И. В. Мирошник. – Санкт-Петербург : Питер, 2005. – 336 с.
3. Башарин, А. В. Управление электроприводами: учеб. пособие / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Ленинград : Энергоиздат, 1982. – 392 с.
4. Панкратов, В. В. Избранные разделы теории автоматического управления: учеб. пособие / В. В. Панкратов, О. В. Нос, Е. А. Зима. – Новосибирск : НГТУ, 2011. – 221 с.
5. Уткин, В. И. Скользящие режимы и их применения в системах с переменной структурой / В. И. Уткин. – Москва : Наука, 1974. – 272 с.
6. Мирошник, И. В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы: учеб. пособие / И. В. Мирошник. – Санкт-Петербург : Питер, 2006. – 271 с.
7. Квакернаак, Х. Линейные оптимальные системы управления / Х. Квакернаак, Р. Сиван. – Москва : Мир, 1977. – 656 с.

УДК 681.5

Григорец Роман Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grigorets Roman Dmitrievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сухоруков Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «ЭПАПУ», Камсомольский-на-Амуре государственный университет

Sukhorukov Sergey Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Department "Electric Drives and Automation of Industrial Plants", Komsomolsk-na-Amure State University

## **АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СТРУКТУР РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

### **ANALYSIS OF STRUCTURE OPTIONS FOR ROBOTIC COMPLEXES FOR PROCESSING LARGE-SIZED PARTS**

Аннотация. В приведенной статье рассматривается задача обработки легких тонкостенных крупногабаритных заготовок с использованием промышленных роботов манипуляторов. Приведены и проанализированы требования, предъявляемые к роботизированным комплексам. Разработаны варианты функциональных схем роботизированных комплексов. Описан принцип управления комплексом и выделены положительные моменты схем.

Annotation. This article discusses the problem of processing light, thin-walled, large-sized workpieces using industrial robotic manipulators. The requirements for robotic systems are presented and analyzed. Variants of functional diagrams of robotic complexes have been developed. The principle of complex control is described and the positive aspects of the schemes are highlighted.

Ключевые слова: промышленный робот, РТК, функциональная схема, активная оснастка.  
Key words: industrial robot, RTC, functional diagram, active equipment.

#### **Введение**

В современном технологическом производстве зачастую возникает задача в обработке легких тонкостенных крупногабаритных заготовок с использованием промышленных роботов [1]. Примером такой обработки может служить сверление отверстий в заготовке, выполнение сборочных операций и т.д. [2]. При этом сам инструмент, с помощью которого происходит обработка, может иметь в разы большие габариты и массу по сравнению с заготовками, что не позволяет напрямую установить инструмент на робота. Возможным решением данной проблемы является стационарная установка инструмента перед роботом и закрепление заготовки на фланце робота с последующим позиционированием её под обрабатывающий инструмент.

Для проектирования такого роботизированного комплекса (РТК) обработки в составе с роботом, внешнего инструмента и дополнительных вспомогательных элементов, необходимо каждый раз разрабатывать систему управления, которая будет связывать воедино все эти элементы [3]. В рамках данной работы будет разработан один из вариантов структуры такой системы управления. Составление вариантов структур облегчит дальнейший выбор при построении комплексов и ускорит процесс их создания.

#### **Анализ требований системы управления**

При проектировании РТК необходимо учитывать следующие требования [4].

Обеспечение взаимодействия робота с инструментом. В зависимости от используемого инструмента, должно быть осуществлено информационное соединение инструмента с управляющим контролером. При этом не всегда есть возможность напрямую обеспечить такое соединение, и потребуется применение дополнительных элементов или программного обеспечения.

Обеспечение контроля позиционирования. Также в зависимости от заготовок есть несколько вариантов осуществления позиционирования. Например, использование захватывающего устройства, магнитного или вакуумного захвата упрощают задачу контроля, так как жестко крепятся к роботу, а затем калибруются. Но в случае необходимости использования оснастки, особенно если оснастка обладает некоторым активным функционалом (например – корректировкой положения относительно фланца робота), задача контроля усложняется и требует применения дополнительных элементов в составе системы управления.

Обеспечение взаимодействия с оператором. В зависимости от выполняемого процесса и требований контроля качества, оператор может иметь разную функциональную нагрузку, от постоянной остановки процесса и его корректировки до наблюдения за полностью автоматическим процессом. В соответствии с задачами оператора будет определяться функционал его пульта управления.

В зависимости от типа обработки возможны и другие специфичные функции и требования.

### Разработка вариантов функциональной схемы

Рассматриваются два варианта функциональной схемы комплекса.

Первый вариант, с использованием простого инструмента в котором не требуется контроля и управления большим количеством параметров [5]. Следовательно, управляющих воздействий контролера робота будет достаточно для обеспечения нормальной работы технологического процесса. Функциональная схема такого варианта представлена ниже (рисунок 1).

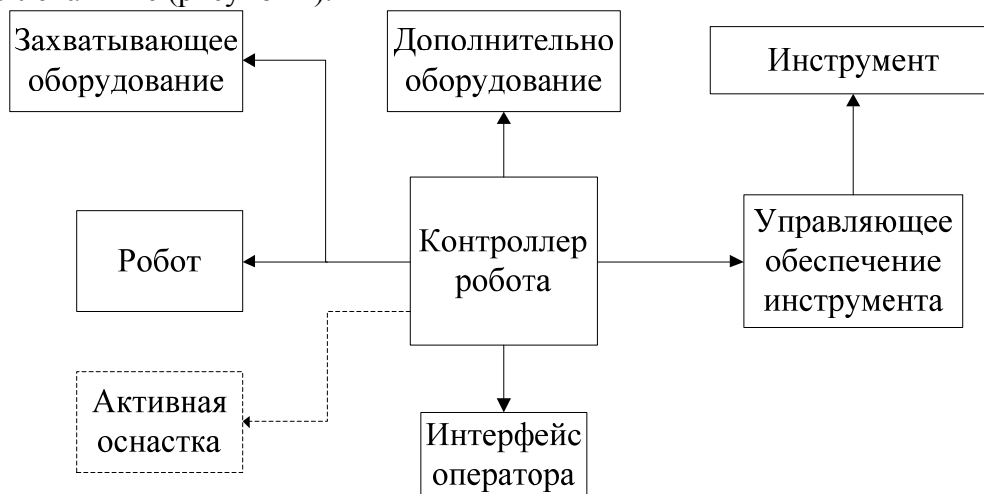


Рисунок 1 – Функциональная схема первого варианта

В данной схеме контроллер робота осуществляет управление всем комплексом и задает управляющие сигналы остальным элементам системы. Управляющее обеспечение инструмента преобразует управляющие сигналы в силовые воздействия для корректной работы инструмента. Интерфейс оператора необходим для внешнего контроля и управления комплексом.

Примером технологического процесса, при котором применим такой вариант, может являться РТК обслуживания прессы, где заготовка с помощью робота манипулятора не просто помещается под пресс, но и позиционируется роботом относительно уже имеющихся элементов заготовки и формы прессы. Так как функционал прессы достаточно ограничен, и нет необходимости в выполнении значительных объемов вычислений, данный вариант структуры является достаточным.

Второй рассмотренный вариант предусмотрен для случая использования нескольких обрабатывающих инструментов с необходимостью соблюдения последовательности обработки, либо для обработки сложных заготовок с большим количеством необходимых для управления инструментами (рисунок 2).

В такой схеме главным управляющим элементом является отдельный вычислительный модуль (чаще всего – ПЛК, однако может использоваться и микроконтроллер/компьютер и т.д.). Его использование обусловлено добавлением исполнительных элементов, что усложняет алгоритмы управления комплексом и ограничивает возможность реализации всех необходимых функций на одном контроллере. Контроллер робота в этом случае осуществляет управление только частью оборудования – роботом и/или захватывающим оборудованием. В обоих вариантах схем возможно использование активной оснастки для закрепления заготовок. Их функциональность различается в зависимости от типа обработки, а управление может быть осуществлено как от ПЛК, так и от контроллера робота.

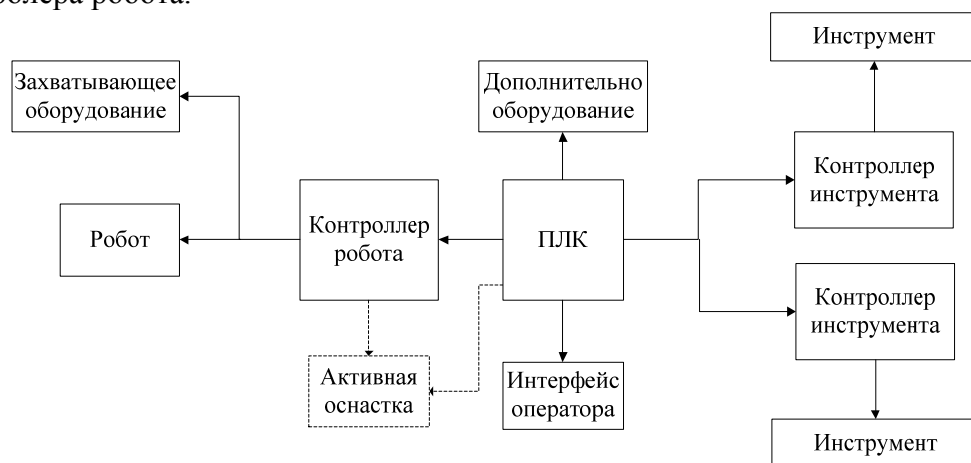


Рисунок 2 – Функциональная схема второго варианта

### Заключение

Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод, что выбор варианта построения РТК является ситуативным и зависит от множества факторов и требований технологических процессов. Но положительным моментом второго варианта является возможность построения более сложных и многофункциональных комплексов. В особенности наличие активных оснасток делает ограниченным вариант использования одного лишь контроллера робота и требует дополнительных элементов управления. Дальнейшая работа будет направлена на разработку экспериментального образца подобного робототехнического комплекса и алгоритмов работы его системы управления.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Скрябин, В.А. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учебник/В.А. Скрябин, А.Г. Схиртладзе, А.Е. Зверовщиков. – Москва : КУРС, НИЦ ИНФРА–М, 2017. – 320 с.
2. Роботизированное сверление и клепка [Электронный ресурс] URL: <https://mirprom.com/public/primenenie-robotov-v-aerokosmicheskoyupromyshlennosti.html> (дата обращения 01.04.2024).
3. Умнов, В. П. Построение, управление и моделирование роботизированных технологических комплексов гибридной обработки [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. П. Умнов, И. Н. Егоров ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых.– Владимир : Изд-во ВлГУ, 2023. – 311с
4. Климов, А. С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке: учебное пособие / А. С.Климов, Н. Е. Машнин. – Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2011. – 240 с.
5. ГОСТ 12.2.072–98 Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний. – Взамен ГОСТ 12.2072–82; введ. 2002–01–01. – Москва : Изд-во стандартов, 2001. [Электронный ресурс] : – URL: <http://www.gosthelp.ru> (дата обращения 02.04.2024)

УДК 621.3.078:519.6

Грищенко Филипп Васильевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grishchenko Philip Vasilievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Поточеский Антон Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Potochesky Anton Mikhailovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Савельева Алена Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyeva Alena Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Савельев Дмитрий Олегович, старший преподаватель, руководитель центра робототехники, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyev Dmitriy Olegovich, Senior Lecturer, Head of Robotics Center, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСЧЕТА УГЛОВ ПОВОРОТА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТРЕХОСЕВОГО РОБОТА МАНИПУЛЯТОРА**

### **DEVELOPMENT OF THE MODULE OF CALCULATION OF ROTATION ANGLES OF ELECTRIC DRIVES OF A THREE-AXIS ROBOT MANIPULATOR**

Аннотация. Разработка системы управления электроприводами робота является ключевым аспектом в создании роботизированных систем гибкого автоматизированного производства. Одной из основных задач является расчет углов поворота каждого электропривода. Это важный шаг в проектировании и управлении роботами манипуляторами. В статье представлен анализ расчёта углов поворота электропривода трехосевого манипулятора и рассмотрена математическая модель кинематики механизма. Данный анализ позволяет точно определить углы поворота каждой из трёх осей манипулятора и обеспечить эффективное управление механизмом.

Abstract. The design of the control system for the robot's electric actuators is a key aspect in the development of robotic systems for flexible automated manufacturing. One of the main tasks is to calculate the rotation angles of each electric actuator. This is an important step in the design and control of robot manipulators. This paper presents an analysis of the calculation of the swing angles of the electric drive of a three-axis manipulator and considers a mathematical model of the kinematics of the mechanism. This analysis makes it possible to accurately determine the rotation angles of each of the three axes of the manipulator and provide effective control of the mechanism.

Ключевые слова: электропривод, трехосевой манипулятор, САУ, робот.

Key word: electric drive, three-axis manipulator, control system, robot.

#### **Введение**

В настоящее время робототехнические системы используются в различных областях промышленности. Под роботом понимается машина автоматического действия, которая может быть запрограммирована на выполнение определенных задач, упрощая труд человека. Для понимания процесса расчёта углов поворота трехосевого робота необходимо иметь представление о структуре и принципе работы таких роботов. Такой робот состоит из трёх вращающихся осей, каждая из которых отвечает за определённое направление движения. Движение по каждой из трех осей совершается посредством поворота соответствующего привода, который поворачивается на определенный заданный угол [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Расчёт углов поворота трехосевого робота необходим для точного позиционирования в пространстве его рабочего инструмента. Для расчета используется математическая модель, которая учитывает геометрические параметры робота, положение его



осей, а также требуемое положение рабочего инструмента. Углы поворота приводов могут измеряться в градусах, либо радианах, то есть единицах, представляющих собой величину, на которую робот должен повернуть соответствующее плечо относительно своей начальной ориентации [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

### Основная часть

Передвижение каждого плеча осуществляется в трехмерном пространстве. Упрощенно такие расчеты необходимо производить в двухмерном пространстве по двум осям [1, Ошибка! Источник ссылки не найден.]:

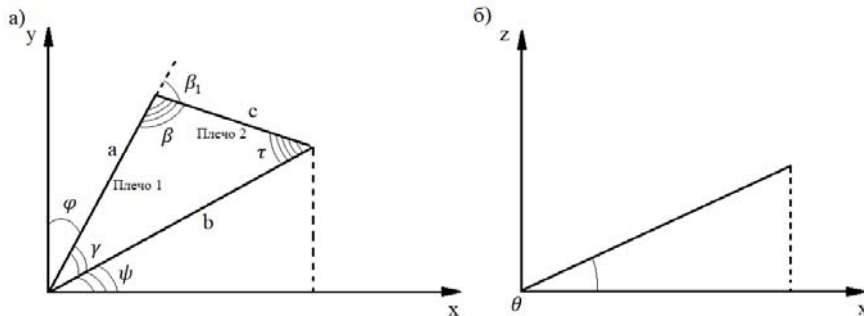


Рисунок 5 – Математическая визуализация движения по двум осям  
а – оси абсцисс и ординат; б – оси абсцисс и аппликат

Расчёт угла между сторонами производится по следующей формуле:

$$\gamma = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot ac}\right),$$

где  $a, b, c$  – стороны треугольника;  $\gamma$  – угол между сторонами  $a$  и  $b$ .

$$\beta = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot ac}\right),$$

где  $\beta$  – угол между  $a$  и  $c$ .

$$\beta_1 = 180 - \beta,$$

где  $\beta_1$  – угол поворота второй руки от изначального положения.

$$\psi = \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right),$$

где  $\psi$  – угол разницы, на которую робот повернётся с учётом изначальной оси  $x$ .

$$\varphi = 90 - (\gamma + \psi),$$

где  $\varphi$  – угол поворота от изначального значения.

Передвижение в двухмерном пространстве по двум осям ( $X$  и  $Z$ ) будет иметь вид (рисунок 1б):

$$\theta = \operatorname{arctan}\left(\frac{y}{x}\right),$$

где  $\theta$  – угол поворота базы робота.

Заменим оси  $X$  и  $Z$  на ось  $W$  с учетом, что ось  $W$  это  $X$  повернутая на угол  $\theta$ . Тогда угол поворота оси первого плеча  $A$  будет следующим:

$$A = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot ab}\right) + \operatorname{arctan}\left(\frac{C_y - D_y}{(C_x - A_x)^2 + (C_z - A_z)^2}\right).$$

Поворот базы  $\theta$  находится по формуле:

$$\theta = \operatorname{arctan}\left(\frac{C_z - A_z}{C_x - A_x}\right).$$

Угол поворота оси второго плеча будет равен:

$$\beta = \pi - \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot ac}\right).$$

По формулам соберём математическую модель расчета углов поворота электроприводов манипулятора в среде Simulink:

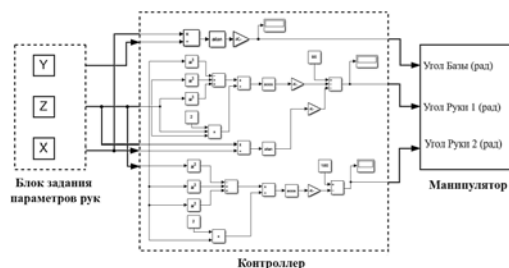


Рисунок 2 – Вычислительный модуль угловых перемещений электроприводов манипулятора

Задав координаты, на которые необходимо переместить манипулятор, модуль расчета углов пересчитывает координаты в углы поворота осей манипулятора. На рисунке 3 представлены переходные процессы перемещения электроприводов трехосевого манипулятора по заданным координатам.

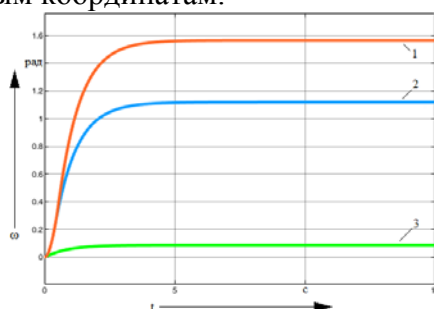


Рисунок 3 – Расчёт углов поворота в радианах:  
1 – ось X (рука 1); 2 – ось Y (рука 2); 3 – ось Z (база)

### Заключение

Для расчёта углов поворота осей робота необходимо учитывать его конструкцию и требования к точности перемещений. Важен учет ограничений по скоростям и ускорениям движения руки манипулятора.

Собранная математическая модель вычислительного модуля преобразовывает координаты в углы поворота электроприводов робота, что в свою очередь позволяет реализовать перемещение трехосевого робота-манипулятора. Точное определение угловой ориентации робота позволяет ему эффективно перемещаться в пространстве, избегая препятствий и выполняя поставленные задачи оператора [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соловьев В.А., Черный С.П., Козин В.М., Сухоруков С.И. Инновационные технологии управления. В 2 книгах. К 1. : монография / [авт.кол. : Баранников А.А., Дунская, Ильиных С.А., и др.]. – Одесса : КУПРИЕНКО СВ, 2013. – 128 с.
2. Дерюжкова, Н. Е. Сравнительная оценка классических и нечетких алгоритмов управления системой электропривода многоточечного формования изделий двойной кривизны / Н. Е. Дерюжкова, В. А. Соловьев, В. В. Тетерин, Д. В. Урасов // Омский научный вестник. – 2020. – № 2(170). – С. 52-57. – DOI 10.25206/1813-8225-2020-170-52-57. – EDN DYWMFA.
3. Новиков, В.А. Электропривод в современных технологиях: учебник (ФГОС) / В. А. Новиков, С. В. Савва, Н. И. Татаринцев; под ред. В. А. Новикова. – Москва : Академия, 2014. – 400 с
4. Gorkavyu A.I., Gorkavyu M.A., Melnichenko M.A., Berkh A.V. Improving the Functioning of the Cybernetic Control System of the Mechatronic Module of the Robotic Complex // Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. Vol. 228, pp. 702, 2021.
5. Кузовков, Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н.Т. Кузовков. – Москва : Машиностроение, 1976. – 184 с.

УДК 681.51

Дербенёв Александр Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Derbenyov Alexander Alexandrovich, 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

## **ПОЗИЦИОННО-СИЛОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАТРОННЫМИ МОДУЛЯМИ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА**

### **POSITIONAL FORCE CONTROL OF MECHATRONIC MODULES OF INDUSTRIAL ROBOT**

Аннотация. В работе представлен один из вариантов решения проблемы фрезерования промышленными роботами неоднородных материалов, который заключается в создании позиционно-силовой системы управления мехатронными модулями с использованием наблюдающих устройств в качестве силомоментных датчиков. Настройка системы управления производилась на принципах оптимального управления.

Abstract. The paper presents a solution to the problem of milling heterogeneous materials by industrial robots, which consists in creating a position-force control system for mechatronic modules using monitoring devices as force-torque sensors. The control system was configured on the principles of optimal control.

Ключевые слова: фрезерование, мехатронный модуль, наблюдающее устройство  
Key words: milling, mechatronic module, monitoring device

#### **Введение**

Функционирование промышленных роботов (ПР) в технологическом режиме фрезерования способно обеспечивать обработку таких материалов как: пластик, композит, дерево и производные от него, фиброглассовые материалы, алюминий, медь, сплавы.

Программа фрезерования определяется как необходимыми траекторными перемещениями, так и обрабатываемыми материалами. Качество траекторных перемещений обеспечивается оптимальной настройкой регуляторов [4]. Если материал неоднороден (твёрдость материала по траектории обработки изменяется), то характеристики фрезерования (подача и скорость резания) должны также изменяться в процессе обработки.

Позиционно-силовое управление электроприводами технологического робота позволяет формировать траекторные перемещения с учётом регулируемого силового воздействия [3].

Варианты построения таких систем зависят как от принципов построения системы электропривода, так и от способов получения информации о силовых воздействиях, в качестве которых чаще всего выступают силомоментные датчики [5].

#### **Основная часть**

Одна из главных проблем при фрезерование ПР является обработка неоднородных материалов. Проблема фрезерования неоднородных материалов заключается в том, что возникают неравномерные силы резания и дополнительный износ режущего инструмента [1].

Это может привести к неравномерности обработки, появлению дефектов на поверхности заготовки, а также к снижению точности и качества фрезерования. Решение проблемы заключается в создании системы, построенной на основе позиционно-силового управления [3].

Позиционно-силовое управление обычно осуществляется с использованием специальных датчиков, контроллеров и алгоритмов, которые позволяют измерять и регулировать силы и движения в реальном времени. Этот подход широко применяется в автоматических системах сборки, робототехнике, обработке материалов и других областях, где требуется точная координация движений и методичное воздействие на окружение. Для формирования и анализа траекторных перемещений разработан моделирующий стенд систем управления мехатронными модулями в составе двухкоординатной манипуляционной системы ПР (рисунок 1).

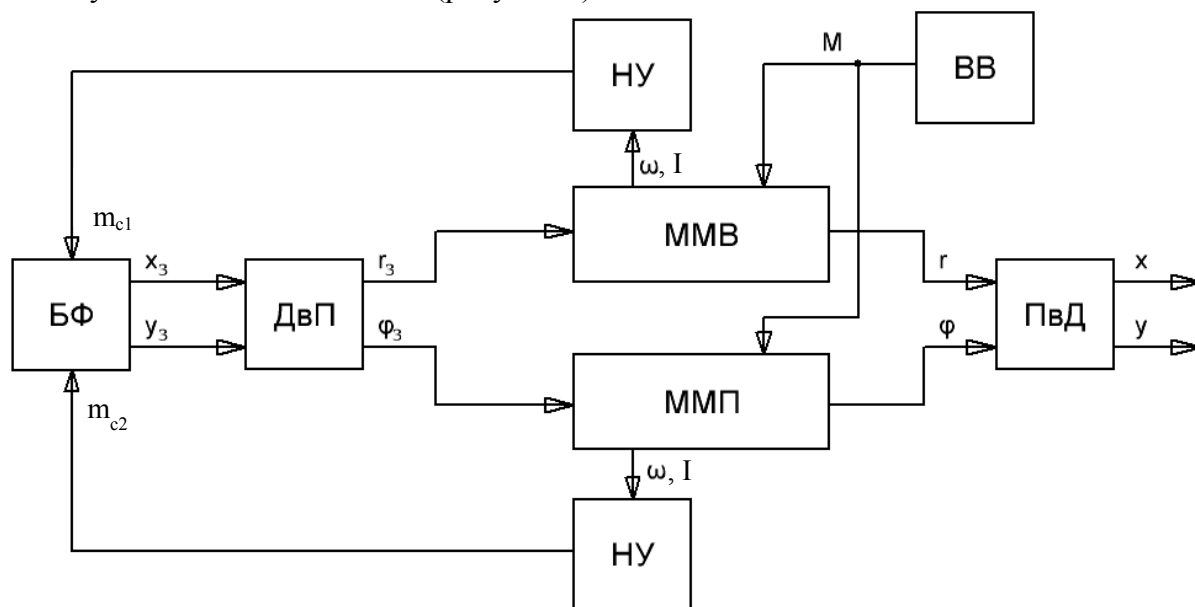


Рисунок 1 – Структура моделирующего стенда

В блоке БФ формируется заданная траектория перемещения (в декартовой системе координат). Блок ДвП преобразует декартовые координаты в полярные, и сигналы задания радиуса и угла ( $r_3$ ,  $\varphi_3$ ) подаются на мехатронный модуль выдвижения (ММВ) и мехатронный модуль поворота (ММП).

Блок ПвД преобразует полярные координаты в декартовые, что позволяет сравнивать заданную траекторию с траекторией выполненной манипуляционной системой.

В момент начала фрезерования на ММВ и ММП подаётся внешнее воздействие (ВВ), моделирующее начальную твёрдость материала, которая изменяется в процессе фрезерования. Происходит это из-за неравномерной плотности материала.

ММВ и ММП являются электроприводами постоянного тока с четырьмя переменными состояниями ( $n = 4$ ): перемещение ( $r$ ,  $\varphi$ ), скорость ( $V$ ,  $\omega$ ), ток ( $I_{я}$ ) и ЭДС тиристорного преобразователя ( $E_{тп}$ ) [2].

Расчёт оптимальных регуляторов систем электроприводов проводился по методике в соответствии [4].

Наблюдающие устройства (НУ), оценивая моменты и усилия, связанные с подачей шпинделя фрезы и твёрдостью материала, выполняют роль силомоментных датчиков, благодаря которым можно корректировать программу подачи в блоке БФ при вхождении фрезы в материал с другой плотностью.

Процесс фрезерования технологическим роботом неоднородного материала показан на рисунке 2.

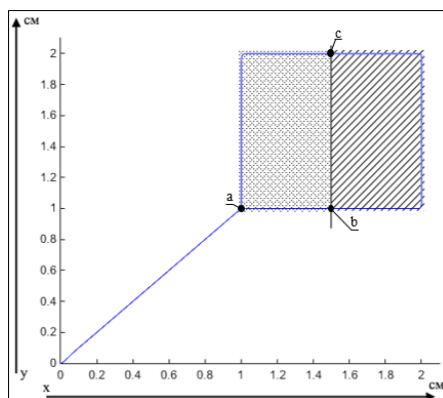


Рисунок 2 – Фрезерование ПР неоднородного материала

В точке «а» происходит начало процесса фрезерования. В точке «b» твёрдость материала увеличивается и подача уменьшается. В точке «с» твёрдость материала уменьшается и подача увеличивается.

### Заключение

Проведённые исследования и полученные оценки результатов показали один из вариантов решения проблемы, связанной с фрезерованием ПР неоднородных материалов. Разработана позиционно-силовая система управления электроприводами с использованием наблюдающих устройств для корректировки подачи при фрезеровании. Использование моделирующего стенда позволяет оптимизировать процесс обработки и проводить исследования технологического процесса фрезерования неоднородных материалов. Моделирующий стенд может быть использован для обучения студентов в качестве лабораторной установки.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бржозовский, Б. М. Оптимальная динамическая настройка станка при обработке неоднородных материалов/ Б. М. Бржозовский, И. Н. Янкин, Д. А. Хайров // Вестник саратовского государственного технического университета. – 2011. – № 2 (60). – С. 142-147.
2. Горькавый, А. И. Разработка и исследование оптимальной по траекторной точности манипуляционной системы / А. И. Горькавый, А. А. Дербенёв // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : материалы VI международной науч.-практической конф. молодых ученых Комсомольск-на-Амуре, 5-11 декабря 2022 г. : в 2 ч. / редкол. : С. И. Сухоруков (отв. Ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2023. – Ч. 1. – С. 18-20. Горькавый, А. И. Математические основы элементов, систем и процессов управления : Учебное пособие / А. И. Горькавый, М. А. Горькавый ; . – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2016. – 68 с. – ISBN 978-5-7765-1199-8. – EDN YQBDKY.
3. Егоров, И. Н. Системы управления электроприводов технологических роботов и манипуляторов : учеб. пособие / И. Н. Егоров, В. П. Умнов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2022. – 314 с. – ISBN 978-5-9984-1670-5. – Электрон. дан. (6,91 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана
4. Квакернаак, Х. Линейные оптимальные системы управления / Х. Квакернаак, Р. Сиван; Пер. с англ. В. А. Васильева, Ю. А. Николаева; Предисл. Б. Н. Петрова. – М.: Мир, 1977. – 650 с.
5. Королёва, Т. А. Силовой моментное ощущение электромеханического манипулятора / Т. А. Королёва, Е. С. Дорофеева // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – № 14. – С. 36-38.

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 КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

### **EXPLORATION OF LAYOUT OPTIONS FOR EQUIPMENT OF AN ACTIVE LASER PROTECTION SYSTEM**

Аннотация. Для построения активной системы защиты от лазерного излучения рассматриваются два основных варианта компоновки расположения элементов: вынесенный датчик от общей платы и вынесенный датчик на плате со схемой усиления от платы с микроконтроллером. Сделан вывод, что при дальнейшей реализации система будет компоноваться из трех видов элементов: плата усиления с расположенным на ней датчиком, плата микроконтроллера для анализа сигналов в рамках одного сегмента защиты, плата центрального микроконтроллера для связи с системой управления процессом лазерной обработки.

Abstract. To build an active laser radiation protection system, two main options for the arrangement of elements are considered: a remote sensor from a common board and a remote sensor on a board with an amplification circuit from a board with a microcontroller. It is concluded that during further implementation the system will be composed of three types of elements: an amplification board with a sensor located on it, a microcontroller board for analyzing signals within one protection segment, and a central microcontroller board for communication with the laser processing process control system.

Ключевые слова: исследование, лазерное излучение, компоновка оборудования, активная система защиты.

Key words: exploration, laser radiation, equipment layout, active protection system.

#### **Введение**

Лазерная обработка – это процесс использования лазеров для изменения физических, химических или биологических свойств материалов. Этот метод является одним из распространенных способов обрабатывать различные материалы. Лазерная обработка основана на использовании светового излучения лазера с высокой интенсивностью. Такое лазерное излучение является опасным для человека в случае его воздействия на различные органы, в особенности на глаза. При роботизированной лазерной обработке, возможны выходы лазерного излучения за пределы рабочей зоны. Таким образом, при построении роботизированных комплексов, применяющих лазерную обработку, необходимо обеспечивать защиту персонала от воздействия лазерного излучения. Такая защита должна не только препятствовать пропусканью лазерного излучения из рабочей зоны, но и иметь возможность определить попытку выхода лазерного излучения из рабочей зоны, то есть быть активной. Соответственно, существует необходимость рассмотрения различных вариантов расположения компонентов, входящего в такую систему защиты.

#### **Основная часть**

Для создания активной системы защиты от лазерного излучения предлагается следующее решение [1]: создание ограждения из сегментов, представляющих из себя полые металлические параллелепипеды. Внутри каждого сегмента по углам будут установлены четыре датчика, фиксирующие тепловое излучение [2] стенки сегмента, направленной к зоне лазерной обработки. При попадании лазерного излучения в сегмент тепловое излучение стенки сегмента начнет быстро возрастать. В качестве датчиков используются фотодиоды [3] инфракрасного диапазона. Так как значение сигнала, выдаваемое фотодиодом очень мало, необходимо усили-

вать сигнал. Далее, все датчики, в рамках одного сегмента, подключаются к плате с микроконтроллером, который обрабатывает получаемый сигнал с датчиков. При фиксации датчиками теплового излучения, превышающего заданный порог, микроконтроллер подает сигнал в общую информационную шину. Информационная шина соединяет все микроконтроллеры, установленные на всех сегментах. Так же применяется плата с центральным микроконтроллером, не привязанным ни к одному из сегментов. Этот микроконтроллер обрабатывает сигналы со всех микроконтроллеров и формирует сигналы для подсистемы безопасности, входящей в систему управления всего роботизированного комплекса. При поступлении сигнала о превышении порога теплового излучения хотя бы в пределах одного сегмента, данные сигналы вызывают останов оборудования и отключение излучения.

Так как фотодиоды, используемые в качестве датчиков, дают слабый сигнал, то его необходимо предварительно усилить [4; 5] до обработки микроконтроллером. Для усиления сигнала с датчиков было опробовано два основных варианта схем:

- схема усиления расположена на одной плате с микроконтроллером, а датчик вынесен на длинных проводах к месту установки внутри корпуса сегмента;
- датчик установлен непосредственно на отдельной плате со схемой усиления, устанавливаемой внутри корпуса сегмента. А уже от этой платы усиленный сигнал передается по проводам необходимой длины к плате с микроконтроллером.

В обоих случаях для апробации сначала использовались схемы, смонтированные на макетных платах, но из-за невысокого качества контакта в разъемных соединениях, работа полученных схем была нестабильной. Далее были изготовлены печатные платы под оба варианта компоновки и опробованы. В версии, где между датчиком и схемой усиления расположен длинный кабель, были получены значительные помехи, искажающие полезный сигнал и не позволяющие в дальнейшем четко определить попадание лазера в стенку сегмента защиты. В варианте, где датчик napаян на плату со схемой усиления, сигнал не искажался и этот вариант был апробирован на реальном сегменте защиты. Датчик установили в сегмент, закрыли, настроили чувствительность, далее направляли луч лазера в стенку сегмента. Был зафиксирован четко различимый рост выходного сигнала с уровня 0,5В до 2В при нагреве без расплавления стенки сегмента.

Таким образом, не смотря на более затратную реализацию с точки зрения необходимого количества изготавливаемых печатных плат, именно вариант со схемами усиления, расположенными внутри корпуса сегмента защиты и содержащими датчик непосредственно на плате усиления, будет использоваться при дальнейшем построении активной системы защиты от лазерного излучения.

### **Заключение**

В рамках данной работы проведено исследование особенностей компоновки оборудования для активной системы защиты от лазерного излучения, в ходе которого рассмотрены два основных варианта: датчик вынесен на проводах от схемы усиления сигнала, находящейся на плате с микроконтроллером и датчик на плате со схемой усиления вынесен на проводах от платы с микроконтроллером. Сделан вывод, что при дальнейшей реализации система будет компоноваться из трех видов элементов: плата усиления с расположенным на ней датчиком, плата микроконтроллера для анализа сигналов в рамках одного сегмента защиты, плата центрального микроконтроллера для связи с системой управления процессом лазерной обработки.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00267, <https://rscf.ru/project/22-79-00267/>.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Патент № 2765549 Российская Федерация, МПК В23К 26/70 (2014.01), В23К 26/38 (2014.01), В23К 26/20 (2014.01), В23К 26/342 (2014.01). Активная автоматизированная система безопасности технологического комплекса лазерной обработки : № 2021108528 : заявл. 29.03.2021 : опубл. 01.02.2022 / Сухоруков С.И. ; заявитель ФГБОУ ВО "КНАГУ". – 10 с.

2. Тепловое излучение, виды, свойства и принцип работы [Электронный ресурс] / m-focus.ru. – URL: <https://m-focus.ru/teplovoe-izluchenie-vidy-svoystva-i-princip-raboty/> (дата обращения: 25.03.2024).

3. Введение в фотодиоды: природа света и PN-переходы [Электронный ресурс] / radioprogram.ru. – URL: <https://radioprogram.ru/post/982> (дата обращения: 25.03.2024).

4. Усилители для фотодиодов на операционных усилителях [Электронный ресурс] / kit-e.ru. – URL: <https://kit-e.ru/usiliteli-dlya-fotodiodov-na-operacionnyh-usilitelyah-chast-1/> (дата обращения: 27.03.2024).

5. Операционные усилители КР1446УД11, КР1446УД12, КР1446УД13, КР1446УД14 [Электронный ресурс] / radiostorage.net. – URL: <https://radiostorage.net/3735-operacionnye-usiliteli-kr1446ud11-kr1446ud12-kr1446ud13-kr1446ud14.html> (дата обращения: 26.03.2024).

УДК 62-83

Дубенко Илья Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Dubenko Ilya Mikhailovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Малюкова Александра Игоревна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Malyukova Aleksandra Igorevna, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **НЕЧЕТКИЙ ПОДХОД К РЕГУЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**

### **A FUZZY APPROACH TO REGULATING THE ELECTRIC DRIVE OF A CHOPPING MACHINE**

Аннотация. Работа рубительной машины связана с переменной нагрузкой, которая определяется углом поворота диска, а также рядом параметров, имеющих качественные характеристики. В сочетании с неопределенностью, связанной с особенностями асинхронного электродвигателя, это затрудняет построение системы регулирования на основе классических методов. Применение нечеткого регулятора в качестве экспертной системы позволит осуществить эффективное регулирование в зависимости от условий работы. Многокаскадность при построении нечеткого регулятора повысит адаптивность, точность и гибкость, упростив при этом настройку регуляторов.

Abstract. The operation of the chipper is associated with a variable load, which is determined by the angle of rotation of the disk, as well as a number of parameters with qualitative characteristics. In combination with the uncertainty associated with the peculiarities of the induction motor, this makes it difficult to build a control system based on classical methods. Application of fuzzy regulator as an expert system will allow implementing effective regulation depending on operating conditions. Multistage construction of fuzzy regulator will increase the adaptability, accuracy and flexibility, while simplifying the adjustment of regulators.

Ключевые слова: система автоматического управления, многокаскадный регулятор, нечеткий логический регулятор, асинхронный двигатель.

Key words: automatic control system, multi-stage controller, fuzzy logic controller, induction motor.

#### **Введение**

Асинхронный двигатель является нелинейным объектом и как техническая система постоянно пребывает в условиях неопределенности. На двигатель в течение его работы оказывают влияние различные внешние факторы. Для электропривода рубительной машины характерно изменение нагрузки, обусловленное прохождением ножа через баланс, а также влиянием параметров древесины и ножей, которые описываются качественными показателями и могут иметь случайный характер. Управление класси-



ческими методами в условиях неопределенности затруднено, в то время как интеллектуальные методы обеспечивают эффективное энергосбережение.

Нечеткое управление не требует знания точной модели объекта, оно организует приближенную стратегию управления, моделируя способ мышления человека. Оно выражает в простых лингвистических терминах любой необходимый для задачи управления алгоритм, линейный или нелинейный, который должен быть предварительно составлен экспертом. Нечеткое управление предоставляет более гибкие механизмы, по сравнению с возможностями, реализуемыми при общепринятых классических алгоритмах управления [5].

### **Основная часть**

В качестве объекта управления рассмотрим электропривод дисковой рубительной машины на основе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором. Для получения качественной технологической щепы необходимо регулировать скорость вращения диска и момент резания. Эти параметры влияют и на энергетические характеристики машины [3]. Важную роль для стабилизации процесса резания играет момент инерции рубительного диска, который устанавливается на валу электродвигателя и компенсирует колебания нагрузки.

При разработке модели нагрузки рубительной машины необходимо учитывать ее работу в реальных условиях: изменение влажности древесины, породы, температуры окружающей среды и других параметров. Момент нагрузки при прохождении ножа через эллипс резания зависит от угла поворота диска, а также от конкретных производственных условий работы рубительной машины. Учет всех параметров приводит к усложнению математической модели и невозможности осуществления регулирования классическими методами. Для упрощения моделирования и уменьшения степени неопределенности принимаются допущения. Так, при расчёте удельной силы резания дополнительно вводятся коэффициенты:  $a_p$  – коэффициент затупления режущих ножей,  $a_w$  – коэффициент, учитывающий влажность древесины,  $a_t$  – коэффициент, учитывающий агрегатное состояние свободной влаги в древесине (мороженая древесина), и  $a_n$  – коэффициент, учитывающий породу древесины [1]:

$$p = P_{уд}(\varphi_v, \varphi_n) a_p a_w a_t a_n,$$

где  $\varphi_v$  – угол встречи вектора скорости резания с направлением волокон древесины;  $\varphi_n$  – угол наклона (угол, лежащий между линией лезвия ножа и направлением волокон древесины);  $P_{уд}(\varphi_v, \varphi_n)$  – удельная касательная сила резания, Н/мм.

Таким образом, качественная информация об условиях работы машины представляется в количественном виде, что делает возможным применение нечеткого регулятора в качестве экспертной системы, которая будет идентифицировать необходимый алгоритм управления в зависимости от задания и условий работы. Настройка параметров рубительной машины позволит контролировать геометрические параметры щепы и увеличить долю кондиционной фракции. Например, в холодный период размеры щепы уменьшаются, следовательно, нужно снижать скорость вращения диска. Классификация состояний системы, возникающих при разных условиях работы, позволит применить технологию многокаскадного нечеткого регулирования [2; 4]. Второй каскад непосредственно генерирует управляющее воздействие на объект управления на основе данных, полученных от регулятора во внешнем каскаде.

### **Заключение**

Поскольку нагрузка рубительной машины определяется количеством ножей, геометрическими параметрами баланса, а также рядом неизмеряемых параметров, которые описываются качественно (сорт древесины, влажность, агрегатное состояние влаги и т.д.), получить точное математическое описание процесса щепообразования затруднительно. Также стоит отметить, что такая техническая система, как короткозамкнутый асинхронный двигатель, постоянно пребывает в условиях неопределенности. Таким образом, учет всех внешних факторов при построении системы управления невозможен. В сочетании с резкопеременной нагрузкой это создает трудности для управления классическими методами на основе ПИД-регуляторов. В условиях информационной неопределенности целесообразно построить систему управления на основе нечеткой логики в сочетании с многокаскадностью, при которой внешний каскад определяет режим работы внутреннего каскада.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев, С. Б. Техника и технология производства щепы в леспромхозе / С. Б. Васильев, В. И. Пятякин, И. Р. Шегельман. – Петрозаводск: ПетрГУ. Петрозаводск, 2001. – 100 с.
2. Бузикаева, А. В. Моделирование интеллектуальной системы управления электроприводом переменного тока с различными алгоритмами вывода во внешнем каскаде / А. В. Бузикаева, С. П. Черный // Электроэнергетические комплексы и системы: история, опыт, перспектива : Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 60-летию кафедры "Системы электроснабжения" и 100-летию плана ГОЭЛРО, Хабаровск, 19–20 ноября 2020 года / Под редакцией И. В. Игнатенко, С. А. Власенко. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 128-132. – EDN Q1HNMX.
3. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод : Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
4. Моделирование интеллектуальной системы управления с двухзонным регулированием скорости / С. П. Черный, А. В. Бузикаева, С. В. Послов, Н. Н. Духнов // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы V Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 06–11 декабря 2021 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.), А.С. Гудим, Н.Н. Любушкина. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 103-106. – EDN HYDMGL.
5. Cherny, S. P. Another approach to enhancement of fuzzy controller intellectual capabilities / S. P. Cherny, V. A. Solovyev. – 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE Xplore Conference Publications. – 2017. – pp. 1 – 4.

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

## **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЗАИМОСВЯЗАННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА**

## **FORMATION OF A MANIPULATOR STRUCTURE FOR CALCULATION OF AN INTERCONNECTED ELECTRIC DRIVE SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ROBOT**

Аннотация. В работе рассматривается процедура формирования структуры манипулятора для расчета взаимосвязанной системы электропривода промышленного робота на основе уравнений движений Лагранжа, метода Денавита-Хартенберга и теорема Кёнига. Показано значительная сложность полученной структуры, которая потребует некоторой линеаризации и упрощения взаимосвязей отдельных координат промышленного робота при построении системы электропривода.

Abstract. The paper discusses the procedure for forming the structure of a manipulator for calculating the interconnected electric drive system of an industrial robot based on the Lagrange equations of motion, the Denavit-Hartenberg method and the Koenig theorem. The significant complexity of the resulting structure is shown, which will require some linearization and simplification of the relationships between individual coordinates of an industrial robot when constructing an electric drive system.

Ключевые слова: манипулятор, математическая модель, структура манипулятора Схема, управление, кинематика, параметризация.

Key words: manipulator, mathematical model, manipulator structure Scheme, control, kinematics, parameterization.

### Введение

В настоящее время промышленные роботы (ПР) играют ключевую роль в автоматизации технологических процессов. Для обеспечения их эффективности (быстродействия и точности, как динамической, так и статической) необходимо максимально точное математическое описание манипуляционного механизма ПР для формирования систем управления электроприводами отдельных звеньев в условиях их взаимного влияния при все повышающимся требованиям к быстродействию и точности технологического оборудования. Математическое описание манипуляционного механизма должно быть представлено таким образом, чтобы при построении систем электропривода были явно представлены функциональные зависимости, характеризующие взаимовлияния звеньев [1] и изменение их моментов инерции в процессе движения ПР. Процесс построения взаимосвязанных звеньев привода многозадачен и требует должной оптимизации, поэтому представляет значительный интерес алгоритмизации структурирования математического описания, что позволит формировать модели различных манипуляционных механизмов.

### Основная часть

Для описания движения ПР, как правило рассматривается система уравнений Лагранжа второго рода [2]:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{dL}{dq_1} - \frac{dL}{dq_1} = M_1; \\ \frac{d}{dt} \frac{dL}{dq_2} - \frac{dL}{dq_2} = M_2; \\ \dots \\ \frac{d}{dt} \frac{dL}{dq_n} - \frac{dL}{dq_n} = M_n, \end{cases} \quad (1)$$

где  $q_i$  обобщенные координаты;  $M_i$  – сила или момент привода, влияющий на данную координату;  $L$  – разность кинетической и потенциальной энергии ( $L = K - T$ ). Для нахождения энергий нужно решить прямую задачу кинематики (ПЗК). Количество уравнений зависит от количества обобщенных координат манипулятора.

В качестве примера рассматривается трехзвенный манипулятор с вращательными сочленениями пятого класса (одна степень свободы на каждом сочленении). Кинематическая схема с привязкой к звеньям в месте сочленений системы координат представлена на рисунке 1. Для манипуляторов с сочленениями пятого класса применен метод Денавита-Хартенберга [3; 5]. Так как положение и ориентация системы координат в пространстве определяется с помощью шести параметров, то данный метод позволяет сократить их до четырех, но с некоторыми ограничениями: по оси  $z_i$  должно осуществляться вращение; ось  $x_{i+1}$  координат перпендикулярна оси  $z_i$ ; ось  $x_{i+1}$  системы координат и ось  $z_i$  системы координат пересекаются.

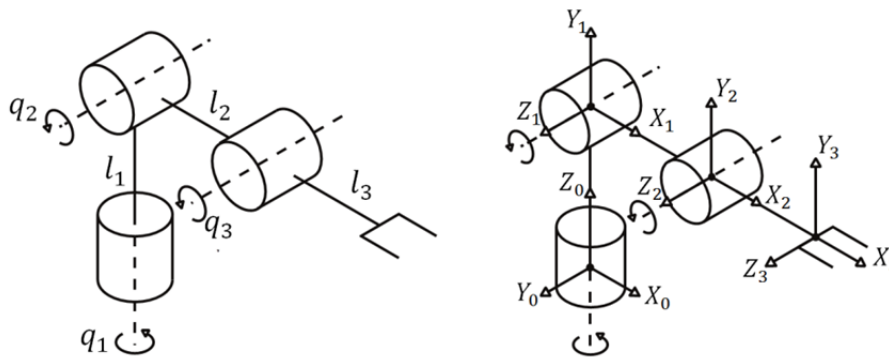


Рисунок 1 – Кинематические схемы

В построенных системах координат с учетом ограничений, составлена таблица параметров Денавита-Хартенберга, где  $a_i$  – расстояние вдоль оси  $x_i$  от  $z_{i-1}$  до  $z_i$ ;  $\alpha_i$  – угол вокруг оси  $x_i$  от  $z_{i-1}$  до  $z_i$ ;  $d_i$  – расстояние вдоль оси  $z_{i-1}$  от  $x_{i-1}$  до  $x_i$ ;  $\theta_i$  – угол вокруг оси  $z_{i-1}$  от  $x_{i-1}$  до  $x_i$ .

Таблица 1 – параметры Денавита-Хартенберга

Звено, $i$	$a_i$	$\alpha_i$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	$\pi/2$	$l_1$	$q_1$
2	$l_2$	0	0	$q_2$
3	$l_3$	0	0	$q_3$

Данные параметры используются в матрице перехода [3; 5] от одной системы координат к предыдущей или следующей:

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i}c_{\alpha_i} & s_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i}c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_i^{i-1} & p_i^{i-1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

По теореме Кёнига [4] кинетическую энергию системы можно представить как сумму поступательной энергии центра масс и вращательной энергии вокруг центра масс. Координаты центра масс звеньев в базовой системе координат можно получить, используя матрицы перехода и вектор смещения ( $cx_i$ ,  $cy_i$  и  $cz_i$ ) относительно системы координат звена:

$$P_i^0 = (T_i^0)[cx_i \quad cy_i \quad cz_i \quad 1]^T. \quad (3)$$

При описании вращательного движения есть два метода: первый основывается на задании вращения относительно систем координат звеньев без учета их вращения (угловые скорости не потребуется проецировать, но будет меняться тензор инерции), либо с учетом вращения (скорости проецируются, тензор инерции статичен); при втором методе для проецирования скоростей используется выражение

$$\omega_i = (R_i^{i-1})^T (\omega_{i-1} + [0 \quad 0 \quad \dot{\theta}_i]^T). \quad (4)$$

Вычисление поступательной скорости  $V_i = \dot{P}_i^0$  определяется путем взятия производной от матрицы координат центра масс (3). На данном этапе есть все значения для нахождения кинетической энергии:

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{V_i^T * V_i * m_i}{2} + \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i^T * J_i * \omega_i}{2}. \quad (5)$$

Потенциальная энергия находится следующим образом:

$$T = \sum_{i=1}^n m_i * g * z_i. \quad (6)$$

Подставив формулы (5) и (6) в систему уравнений (1) и продифференцировав по обобщенным координатам, получаем систему уравнений движения манипулятора с учетом взаимовлияний и изменений моментов инерции:

$$\begin{cases} \ddot{q}_1 = \frac{f_1(q_2, q_3)\dot{q}_1\dot{q}_2 + f_2(q_2, q_3)\dot{q}_1\dot{q}_3 + M_1}{J_1(q_2, q_3)}; \\ \ddot{q}_2 = \frac{f_3(q_2, q_3)\dot{q}_1^2 + f_4(q_3)\dot{q}_2\dot{q}_3 + f_5(q_3)\dot{q}_3^2 + f_6(q_3)\ddot{q}_3 + f_7(g, q_2, q_3) + M_2}{J_2(q_3)}; \\ \ddot{q}_3 = \frac{f_8(q_2, q_3)\dot{q}_1^2 + f_9(q_3)\dot{q}_2^2 + f_{10}(q_3)\dot{q}_2 + f_{11}(g, q_2, q_3) + M_3}{J_3}, \end{cases} \quad (7)$$

где  $M_1, M_2, M_3$  – моменты двигателей электроприводов звеньев;  $f_1...f_{11}$  – сгруппированные функциональные зависимости, которые в дальнейшем разделяются на моменты и силы взаимовлияния звеньев, например  $F_1...F_6$ , как показано на структурной схеме первого звена трехзвенного манипуляционного механизма (рисунок 2).

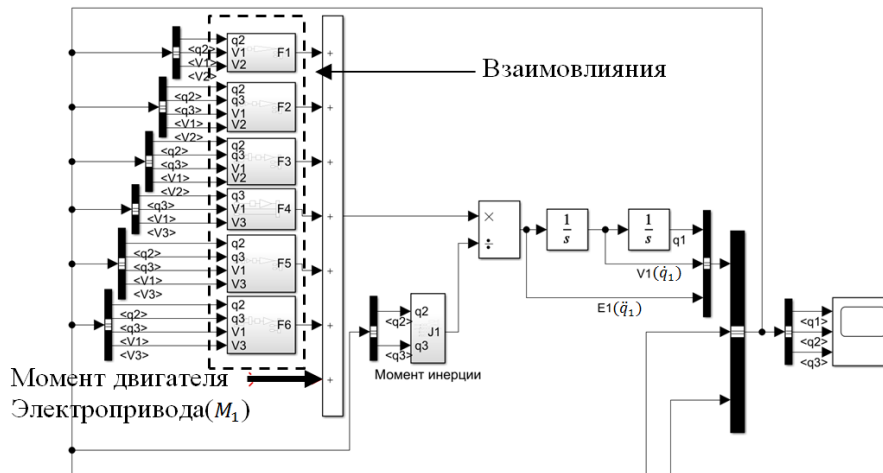


Рисунок 2 – Структурная схема первого звена манипуляционного механизма в виде объекта управления

Полученные структурные схемы движения звеньев могут использоваться для построения их систем электропривода (мехатронных модулей) с учетом взаимовлияний, что позволит повысить качество многоканальной системы управления ПР.

### Заключение

В работе определено математическое описание трехзвенного манипуляционного механизма, из которого выявлены взаимодействия координат и гравитационные силы, что позволит в дальнейшем произвести их частичную компенсацию взаимодействий в рамках синтезируемой системы электропривода промышленного робота. Также стоит отметить, что данный процесс математического описания имеет потенциал в рамках автоматизированного вычисления. Полученные результаты распространяются и на манипуляционные механизмы большей размерности.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мирошник, И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы / И.В. Мирошник. – Санкт-Петербург : Питер, 2005. – 336 с. – ISBN 5-469-00350-7.
2. Бурдаков, С.Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев. – Москва : Высш. шк. 1986. – 264 с.
3. Борисов, О.И. Методы управления робототехническими приложениями / О.И. Борисов, В.С. Громов, А.А. Пыркин. – Санкт-Петербург : ИТМО 2016. – 108 с.
4. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Том 1. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Москва : Наука. Главная редакция физико-математической литературы 1988. – 216 с. – ISBN 5-02-013850-9.
5. Зенкевич, С.Л. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана 2000. – 400 с. – ISBN 5-7038-1339-5.

УДК 004.896

Емельянов Кирилл Андреевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Emelyanov Kirill Andreevich, postgraduate, Komsomolsk-na-Amure State University

Черный Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Cherniy Sergey Petrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of Department "Electric drive and automation of industrial plants", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗВИТЫХ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ**

### **OPTIMISATION OF MECHANISED PLASMA CUTTING PROCESS PARAMETERS THROUGH APPLICATION OF ADVANCED FUZZY ALGORITHMS**

Аннотация. В данной работе рассмотрена проблематика повышения эффективности и качества плазменной резки на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) путем оптимизации ее ключевых параметров. Исследование акцентирует внимание на применении нечетких алгоритмов как инструмента искусственного интеллекта, способного адаптироваться к меняющимся условиям производства и обрабатывать неопределенную и неточную информацию для достижения оптимальных настроек процесса. Результаты исследования представлены в виде обзора взаимосвязей между ключевыми параметрами процесса и описания методологии разработки и тестирования алгоритмов. Abstract. This paper considers the problem of improving the efficiency and quality of plasma cutting on numerically controlled numerical control (NC) machines by optimizing its key parameters. The study focuses on the application of fuzzy algorithms as an artificial intelligence tool capable of adapting to changing production conditions and processing uncertain and imprecise information to achieve optimal process settings. The results of the study are presented in the form of an overview of the relationships between key process parameters and a description of the methodology for algorithm development and testing.

Ключевые слова: механизированная плазменная резка, развитые нечеткие алгоритмы, адаптивное управление, система управления, повышение эффективности, управление качеством реза

Key words: mechanized plasma cutting, advanced fuzzy algorithms, adaptive control, control system, efficiency improvement, cut quality control

#### **Введение**

Плазменная резка занимает ключевую роль в производствах, связанных с раскромом листовых металлов, обеспечивая высокую производительность при низкой стоимости оборудования. Показатели эффективности и точности данного процесса напрямую зависят от ряда параметров, таких как скорость резки, расход плазмообразующего газа и мощность плазменной дуги [1]. Традиционные системы управления данным процессом не способны адаптироваться к меняющимся условиям производства и особенностям материала, что не позволяет повысить качество продукции и уменьшить время производства, количество отходов и затраченных расходных компонентов. Исходя из этих недостатков, особенно актуальным становится поиск инновационных решений для оптимизации данного процесса. Одним из перспективных вариантов развития является

применение алгоритмов искусственного интеллекта, в частности нечетких алгоритмов. Применение данных решений позволит обрабатывать неопределенную и неточную информацию, адаптируясь к изменениям в процессе резки и оптимизировать параметры в реальном времени.

### **Основная часть**

На данный момент для обеспечения качества и точности процесса плазменной резки металла на станках с ЧПУ используется несколько основных методов. К ним относятся: стабилизация высоты резака (СВР), контроль состояния дуги и дискретное уменьшение тока при замедлении резака. Эти параметры имеют решающее значение для оптимизации качества резки и минимизации износа оборудования.

Стабилизация высоты резака (СВР). Расстояние между плазмотроном и заготовкой изменчиво из-за различных факторов (неровность металлического листа или его неравномерная толщина, геометрическая неровность стола станка или его провисание под тяжестью заготовки). Для поддержания стабильности и оптимальной мощности плазменной дуги, а также увеличения срока службы компонентов плазматрона требуется поддерживать постоянную высоту реза. Для этого в современных системах используются делители напряжения дуги или датчики расстояния для автоматической регулировки. СВР могут быть как автономными, так и встроенные в устройство ЧПУ.

Дискретное уменьшение тока. Для предотвращения перегрева металла и повышения точности реза при замедлении на углах и сложных контурах, устройство ЧПУ может подать сигнал ограничения тока реза на источник. Недостаток данного способа состоит в ступенчатом переключении тока дискретным сигналом, что не соответствует динамике перемещения резака и требует аппаратной поддержки данного режима источником.

Контроль состояния дуги. Данный метод позволяет отслеживать состояние процесса переноса дуги на заготовку. Во время успешного переноса дежурной дуги (силовая дуга возникла), источник повышает силу тока с дежурного до заданного значения. Недостатком является дискретный контроль тока, не актуальный при изменении значения тока дежурной дуги.

Данные методы, в совокупности с блокировками безопасности системы управления, позволяют контролировать параметры процесса плазменной резки в допустимых параметрах.

Нечеткая логика представляет собой расширенный способ к управлению процессами, позволяющий обрабатывать неопределенность и изменчивость более эффективно чем традиционные системы [2]. В контексте плазменной резки, данный способ управления позволяет динамически адаптироваться к изменяющимся условиям процесса и материалов, улучшая качество реза и эффективность производства.

Плазменная резка - сложный процесс, зависящий от множества переменных характеристик, таких как тип и толщина материала, форма и размер детали, а также параметры резки [3] (ток, скорость, высота резака). Применение нечеткой логики позволит создать систему управлений, которая сможет эффективно обрабатывать данные и автоматически регулировать процесс резки для достижения оптимальных результатов и без постоянного вмешательства оператора. Основные преимущества применения НЛ в данном процессе:

- В отличие от дискретных методов, нечеткая логика позволяет непрерывно и плавно регулировать параметры в соответствии с текущими условиями резания. Это позволит снизить риск возникновения дефектов и повысить эффективность процесса [4].
- Возможность автоматической адаптации к различным условиям резания: система сможет автоматически регулировать параметры в зависимости от изменения характеристик материала или заданной траектории резания [5].

- Оптимизация параметров на основе входных данных: применение нечеткой логики позволит системе обучаться и оптимизировать процесс реза на основе полученного опыта, адаптируясь к новым условиям с минимальным обучением.

Данные преимущества позволят оптимизировать следующие процессы:

- Для обеспечения наилучшего качества резки система сможет автоматически регулировать силу тока и скорость в зависимости от материала, чтобы предотвратить перегрев или недостаточное пробитие.

- Подбирать основные параметры и расходные компоненты по введенным данным о типе и толщине металла.

- Регулировать траекторию перемещения резака для компенсации ширины реза, меняющегося со временем.

### **Заключение**

Применение нечеткой логики в системах управления плазменного раскроя металла дает значительные преимущества по сравнению с традиционными методами. Данное решение не только повысит качество и точность обрабатываемых деталей, но и открывает новые сферы применения механизированной плазменной резки.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Мевлют, Ш. Т. Повышение качества плазменной резки металлов путем оптимизации технологических параметров процесса / Ш. Т. Мевлют, Н. П. Киселев // Проблемы и перспективы студенческой науки. – 2020. – № 1(7). – С. 9-13. – DOI 10.26160/2541-9579-2020-7-9-13. – EDN SKHYUV.

2. Черный, С. П. Особенности реализации моделей многокаскадного нечеткого регулятора для системы управления технологическими процессами / С. П. Черный, А. В. Бузикаева, С. Б. Ковылин // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 16–26 февраля 2021 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.), А.С. Гудим, Н.Н. Любушкина. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 75-79. – EDN WMDTZR.

3. Платов, С. А. Разработка методики исследования параметров процесса плазменной резки, в зависимости от типа и характеристик обрабатываемого материала / С. А. Платов, Ю. В. Турыгин // Молодые ученые - ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : сборник материалов III Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием: электронное научное издание, Ижевск, 22–23 апреля 2015 года / Ответственные за выпуск: А.П. Тюрин, А.Н. Домбрачев. – Ижевск: ИННОВА, 2015. – С. 205-209. – EDN TSBWRH.

4. Analysis of approaches to modelling the fuzzy control systems with extension of their functional capabilities / S. P. Cherniy, V. I. Susdorf, A. V. Buzikaeva, V. N. Khrulkov // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. – 2021. – No. 31. – P. 4. – DOI 10.4108/eai.13-7-2018.165496. – EDN RVZZPA.

5. Бузикаева, А. В. Реализация процедур управления в системе с двухзонным регулированием на основе интеллектуального подхода / А. В. Бузикаева, А. С. Зенченко, В. В. Павлов // 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. 9-11. – EDN FFQQVM.



УДК 62-83

Желевский Александр Денисович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zhelevskii Aleksandr Denisovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Малюкова Александра Игоревна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Malyukova Aleksandra Igorevna, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ DTC ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКЕ**

### **FUZZY LOGIC IN DTC SYSTEMS WORKING AT CHANGING LOAD**

Аннотация. Система DTC-управления асинхронными двигателями обладает недостатком, обусловленным наличием релейных регуляторов. Переключения векторов напряжений в сочетании с резкопеременной нагрузкой рубительной машины увеличивает пульсации момента асинхронного двигателя. Изменения классической системы управления позволяют улучшить стабилизацию момента. Одним из вариантов модификации является применение регуляторов на основе нечеткой логики.

Abstract. DTC control of induction motors has a disadvantage due to the presence of relay controllers. Voltage vector switching in combination with the sharply varying load of the chipper increases the torque ripple of the induction motor. Modifications to the classical control system allow for improved torque stabilization. One of the modification options is the application of fuzzy logic based controllers.

Ключевые слова: система автоматического управления, прямое управление моментом, нечеткий логический регулятор, асинхронный двигатель.

Key words: automatic control system, direct torque control, fuzzy logic controller, induction motor.

#### **Введение**

При производстве технологической щепы на дисковых рубительных машинах важно поддерживать постоянными момент и скорость резания, что положительно влияет как на качество щепы, так и на производительность и энергетические характеристики рубительной машины [5].

Для дисковых рубительных машин характерны существенные колебания нагрузки, определяемые изменением усилия резания при прохождении ножа вдоль эллипса резания. Кроме того, нагрузка зависит от параметров древесины, режущих ножей, внешних условий работы машины. Так, в холодное время при рубке мороженой древесины увеличивается усилие резания, а размеры щепы уменьшаются, что приводит к возрастанию доли некондиционной фракции [6]. При использовании асинхронных двигателей стабилизация момента и скорости при работе на переменную нагрузку выполняется за счет большого момента инерции рубительной машины, который обеспечивается массивным диском. Стабилизация момента и скорости возможна при использовании регулируемого электропривода, что позволит уменьшить суммарный момент инерции электропривода и снизить потери энергии.

#### **Основная часть**

В процессе рубки баланса сила и момент резания не являются постоянными, а меняются в зависимости от параметров древесины, ножей и условий работы рубительной машины. Характер формирования нагрузки АД резко переменный, поэтому использование методов регулирования без обратной связи не обеспечивает поддержания заданных значений момента и скорости.

Одним из современных методов регулирования является прямое управление моментом. Метод прямого управления моментом обладает некоторыми преимуществами по сравнению с другими методами управления [4]. Однако у этого

метода есть и недостаток, обусловленный наличием гистерезисных регуляторов, что в сочетании с резкопеременной нагрузкой приводит к неустойчивости момента асинхронного двигателя. Уменьшить пульсации момента позволяют изменения, внесенные в классическую систему с прямым управлением моментом [1]. Модификации системы DTC могут быть произведены следующими способами:

- изменение в регуляторах;
- изменение в таблице переключений.

Наибольший эффект достигается за счет совместного использования этих способов.

Одним из вариантов изменения системы DTC является применение регулятора, построенного на основе нечеткой логики. Согласно исследованиям [2,3], модификация системы DTC возможна путем применения нечеткого регулятора, заменяющего блоки релейных регуляторов, определителя фазового сектора и таблицы переключения ключей, а также путем использования нечетких регуляторов вместо релейных регуляторов потокосцепления статора и электромагнитного момента двигателя в сочетании с увеличением количества секторов пространства состояний инвертора.

Для оценки эффективности указанных систем при переменном характере нагрузки произведено имитационное моделирование переходных процессов в системах с нечетким регулятором (рисунок 1, а) и с гистерезисными регуляторами и классической системой переключений (рисунок 1, б). В системе с нечетким регулированием колебания момента в установившемся режиме реза значительно снизились. Результаты моделирования показывают эффективность замены функциональных блоков системы DTC нечеткими регуляторами для снижения пульсаций момента при работе двигателя на переменную нагрузку.

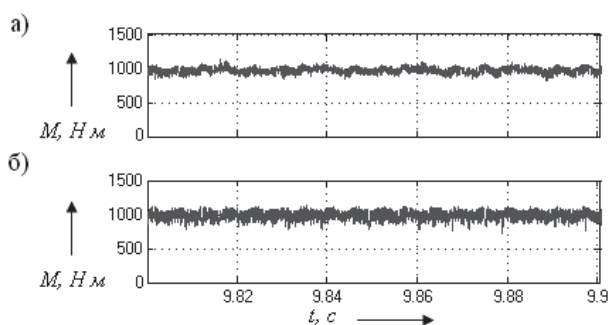


Рисунок 1 – Изменение момента нагрузки: а) в модифицированной системе DTC; б) в исходной системе DTC

### Заключение

Система управления DTC не обеспечивает постоянного значения электромагнитного момента асинхронного двигателя. Неустойчивость момента обусловлена постоянным изменением выходного вектора напряжения преобразователя частоты, переключения которого определяются зоной нечувствительности релейных регуляторов потокосцепления статора и момента. Большое влияние на диапазон пульсаций момента оказывает характер нагрузки. Изменение системы DTC путем введения нечеткого регулирования позволяет значительно снизить флуктуации момента и улучшить технические и энергетические показатели.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Козярук, А. Е. Системы прямого управления моментом в частотно-регулируемых электроприводах переменного тока / А. Е. Козярук, В. В. Рудаков // Санкт-Петербург: СПЭЖ. – 2005. – 100 с.
2. Данилова, М. Г. Моделирование асинхронного привода с нечетким прямым управлением момента в Simulink / М. Г. Данилова, С. Ю. Чернышов, Е. Н. Сидоров, М. С. Основин // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 3(30). – С. 3. – EDN TFXETJ.

3. Моделирование системы прямого управления моментом асинхронного двигателя с регулятором на основе нечеткой логики в Simulink / М. Г. Данилова, М. Ю. Серов, Д. И. Богаевич [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2(45). – С. 83. – EDN ZEONMV.

4. Усольцев, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями : Учебное пособие / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.

5. Фокин, С. В. О влиянии частоты вращения рубительного диска на эффективность работы машины для измельчения порубочных остатков / С. В. Фокин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 5-3(10-3). – С. 160-163.

6. Bjurulf, Anders Chip Geometry – Methods to impact the geometry of market chips : Doctoral thesis / Anders Bjurulf. – Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala 2006. – 43 p. – URL: [https://pub.epsilon.slu.se/1251/1/Chip\\_geometry.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/1251/1/Chip_geometry.pdf) (дата обращения: 10.04.2024).

УДК 004.896

Иванов Данила Романович, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ivanov Danila Romanovich, Master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бузикаева Алина Валерьевна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Buzikaeva Alina Valerevna, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДВУХКАСКАДНОЙ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

### **IMPLEMENTATION FEATURES OF A TWO-STAGE FUZZY AC DRIVE CONTROL SYSTEM**

Аннотация. В статье рассмотрен принцип построения двухкаскадного нечеткого логического регулятора с сочетаниями алгоритмов вывода Сугено-Мамдани и Мамдани-Мамдани для системы управления электроприводом переменного тока. Приведен сравнительный анализ динамических характеристик и интегральных характеристик реакции системы на нестационарность внутреннего параметра.

Abstract. The article discusses the principle of constructing a two-stage fuzzy logic controller with combinations of Sugeno-Mamdani and Mamdani-Mamdani inference algorithms for an AC electric drive control system. A comparative analysis of the dynamic characteristics and integral characteristics of the system's response to the nonstationarity of the internal parameter is presented.

Ключевые слова: электропривод переменного тока, интеллектуальная система управления, двухкаскадный нечеткий логический регулятор, алгоритмы нечеткого вывода.

Key words: AC electric drive, intelligent control system, two-stage fuzzy logic controller, fuzzy inference algorithms.

#### **Введение**

Одним из наиболее перспективных направлений научных исследований являются интеллектуальные системы управления технологическими процессами. В большинстве случаев типичным объектом автоматизации являются электроприводы. Реализация типового нечеткого логического регулятора в системах управления электроприводами переменного тока не всегда обеспечивает получение желаемых

показателей качества. Кроме того для сложных систем автоматизации настройка нечетких логических регуляторов будет сопровождаться усложнением базы знаний, увеличением числа лингвистических переменных и функций принадлежности. Поэтому предлагается осуществить синтез и исследование двухкаскадной системы автоматического регулирования электроприводом переменного тока с различным сочетанием механизмов вывода во внешнем и внутреннем каскадах. Электропривод переменного тока характеризуется большим количеством перекрестных связей, а также нестационарностью и нелинейностью, что позволяет отнести такой объект регулирования к классу сложных.

### Основная часть

На рисунке 1 приведены структурная схема интеллектуальной системы управления электроприводом переменного тока [1].

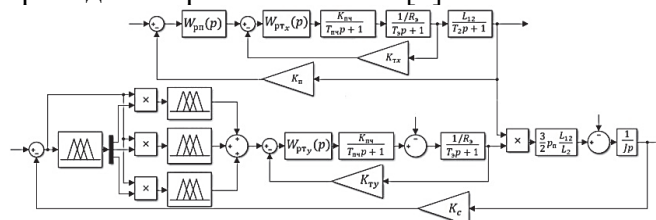
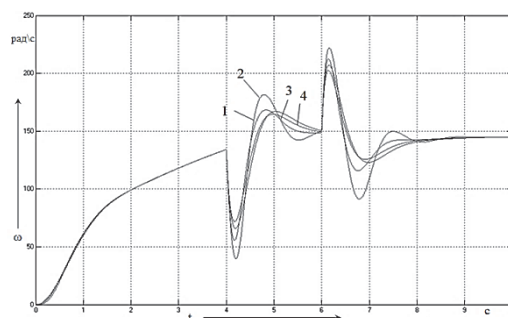


Рисунок 1 – Структурная схема двухкаскадной системы регулирования электроприводом переменного тока

Путем флуктуации расчетного значения величины потокосцепления был осуществлен синтез классической и интеллектуальной системы управления электроприводом переменного тока [2].

Рисунок 2 – Реакция классической и интеллектуальной системы управления электроприводом переменного тока с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани на входное воздействие:

- 1 – классическая система;
- 2 – классическая система с измененным значением потокосцепления;
- 3 – двухкаскадная система;
- 4 – двухкаскадная система с измененным значением потокосцепления



Анализ результатов моделирования, приведенных на рисунке 2, позволяет сделать вывод, что при отклонении базового параметра электропривода, система управления с двухкаскадным нечетким логическим регулятором проявляет свойства робастности и улучшает один из основных показателей качества регулирования – перерегулирование.

На основании динамических характеристик (рисунок 2) была построена интегральная зависимость максимального значения сигнала при изменении величины потокосцепления, приведенная на рисунке 3. В ходе анализа диаграммы (рисунок 3 (а)) было отмечено, что система управления с внедренным интеллектуальным регулятором, проявляет свойства компенсации при изменении значения величины потокосцепления [3].

Подобным образом осуществлялся синтез интеллектуальной системы управления с альтернативным сочетанием алгоритмов нечеткого логического вывода, в результате чего были получены динамические характеристики, отображающие качество процесса регулирования (рисунок 4). Рисунок 3 (б) иллюстрирует зависимость изменения величины максимального отклонения сигнала от флуктуации величины потокосцепления. Анализ результатов моделирования позволяет говорить о целесообразности внедрения в систему автоматизации интеллектуального регулятора, структурно состоящего из двух каскадов простейших нечетких логических модулей [4].

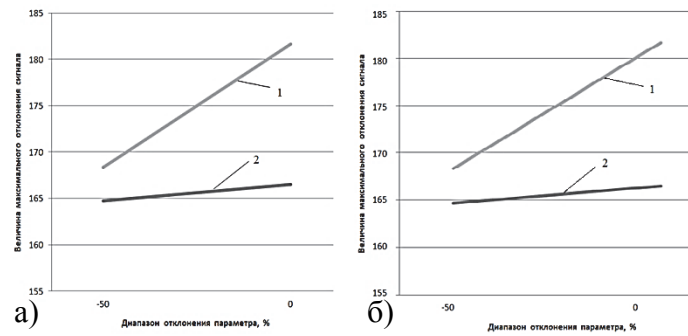


Рисунок 3 – Интегральные характеристики реакции системы на нестационарность внутреннего параметра при сочетании алгоритмов вывода Сугено-Мамдани (а) и при сочетании алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани (б): 1 – система с классическим регулятором, 2 – двухкаскадная нечеткая система управления

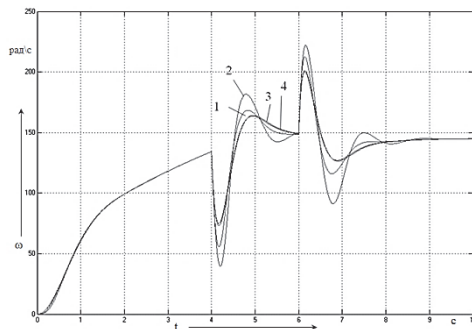


Рисунок 4 – Реакция классической и интеллектуальной системы управления электроприводом переменного тока с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани на входное воздействие 1 – классическая система; 2 – классическая система с измененным значением потокосцепления; 3 – двухкаскадная система; 4 – двухкаскадная система с измененным значением потокосцепления

### Заключение

В заключение необходимо отметить, что интеллектуальные регуляторы, построенные с применением предлагаемой технологии многокаскадного управления, обладают достаточной гибкостью и адаптивностью для применения их при управлении системами автоматизации в условиях неполноты, а зачастую, и противоречивости исходной и поступающей информации. Кроме того сравнительный анализ приведенных динамических характеристик, полученных в результате моделирования системы управления электроприводом переменного тока, позволяет оценить основные показатели качества регулирования в целом.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Башарин, А. В. Управление электроприводами : учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. - Ленинград : Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. - 392 с.
2. Стельмашук, С. В. Синтез следящего электропривода с контуром скорости, настроенного на модульный оптимум / С. В. Стельмашук, В. А. Бунаков // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2016. – Т. 1, № 4(28). – С. 54-62. – EDN XEBNIP.
3. Savelyev, D. O. Software Fuzzy Logic Compensator of Nonlinear Elements of Automatic Control System / D. O. Savelyev, A. S. Gudim // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, Vladivostok, 03–04 октября 2018 года. – EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8602829. – DOI 10.1109/FarEastCon.2018.8602829. – EDN YARZBH.
4. Соловьев, В.А. Нечеткое управление в системе регулирования позиционных электроприводов стержневой установки / В. А. Соловьев, Н. Е. Дерюжкова, А. Х. Чжо, В. В. Тетерин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 5. – С. 77-80. – EDN PZRNMU.

УДК 004.896

Иванов Данила Романович, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ivanov Danila Romanovich, Master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бузикаева Алина Валерьевна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Buzikaeva Alina Valerevna, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОДХОДА

### IMPLEMENTATION OF CONTROL PROCEDURES IN THE CONTROL SYSTEM FOR DC ELECTRIC DRIVES BASED ON AN INTELLIGENT APPROACH

Аннотация. В работе приведен синтез интеллектуальной системы управления на базе электропривода постоянного тока с различным сочетанием алгоритмов нечеткого логического вывода. Предложена двухкаскадная иерархическая структура формирования нечеткого регулятора. Проведен анализ поведения системы при подаче сложного ступенчатого управляющего сигнала.

Abstract. The paper presents the synthesis of an intelligent control system based on a DC electric drive with various combinations of fuzzy logical inference algorithms. A two-stage hierarchical structure for the formation of a fuzzy controller is proposed. An analysis of the behavior of the system when a complex step control signal is supplied is carried out.

Ключевые слова: электропривод постоянного тока, интеллектуальная система управления, двухкаскадный нечеткий логический регулятор, алгоритмы нечеткого вывода  
Key words: DC electric drive, intelligent control system, two-stage fuzzy logic controller, fuzzy inference algorithms

#### Введение

Эволюция современных систем управления тесно связана с такой областью знаний, как искусственный интеллект, поэтому применение интеллектуальных подходов к локальным системам регулирования является актуальной проблемой. Одним из ключевых направлений в области искусственного интеллекта при моделировании систем автоматического управления технологическими объектами является применение аппарата нечеткой логики. Классические методы построения систем регулирования, функционирующих с применением мягких вычислений, не всегда позволяют получить желаемые показатели качества. Кроме того, многим технологическим объектам присущи сложное математическое описание и неполнота входной информации, что влечет за собой сложности при настройке нечетких модулей. Одним из возможных путей решения обозначенного выше перечня проблем является внедрение в систему автоматического управления двухкаскадного нечеткого логического регулятора, который позволит получить качественные динамические характеристики на выходе.

#### Основная часть

Путем замены классического регулятора, расположенного в контуре положения, был осуществлен синтез системы управления электроприводом постоянного тока [1], структурная схема которого приведена на рисунке 1.

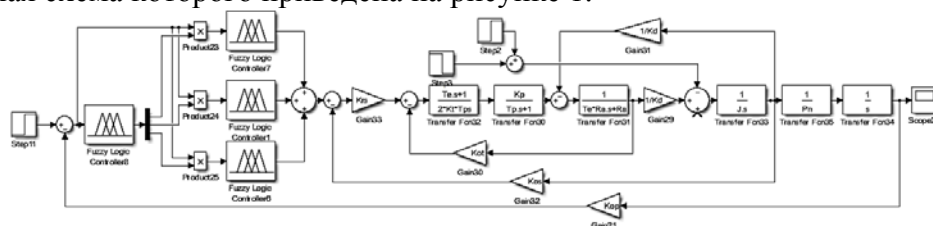
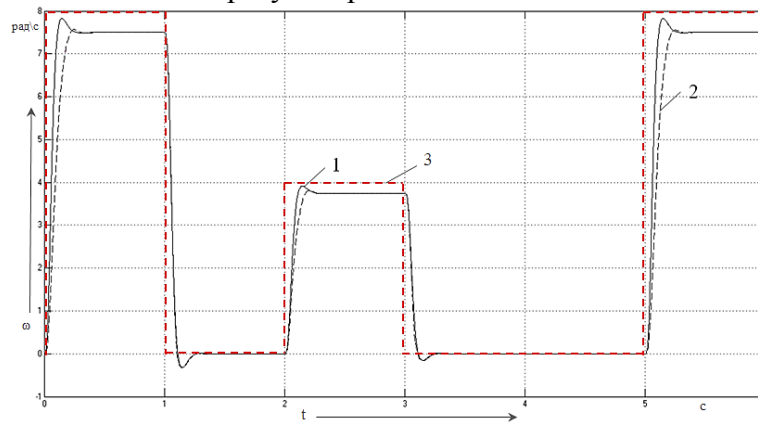


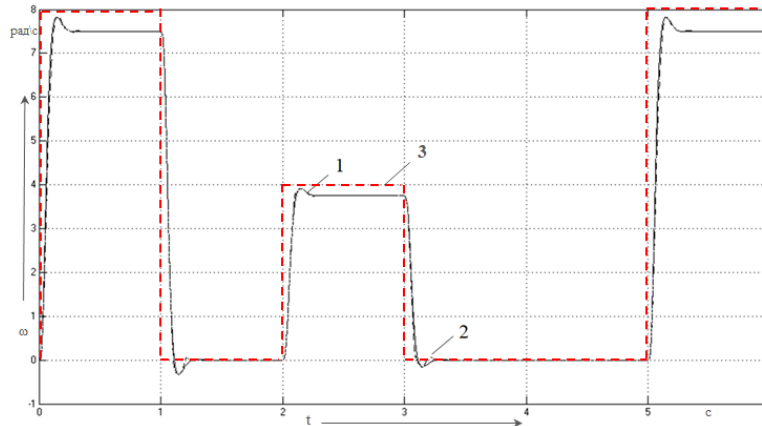
Рисунок 1 – Структурная схема двухкаскадной системы регулирования на базе электропривода постоянного тока

Формирование итогового управляющего закона с выхода двухкаскадного нечеткого логического регулятора осуществляется суммированием выходных сигналов с каждого нечеткого логического регулятора вложенного каскада системы управления.



1 – система с классическим регулятором, 2 – интеллектуальная система;  
3 – форма задающего сигнала системы

Рисунок 2 – Динамические характеристики классической и интеллектуальной системы управления с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани при подаче сложного ступенчатого сигнала



1 – система с классическим регулятором, 2 – интеллектуальная система;  
3 – форма задающего сигнала системы

Рисунок 3 – Динамические характеристики классической и интеллектуальной системы управления с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани при подаче сложного ступенчатого сигнала

На рисунках 2 и 3 приведены динамические характеристики, полученные в результате моделирования интеллектуальной системы регулирования с сочетанием алгоритмов нечеткого логического вывода Сугено-Мамдани и Мамдани-Мамдани соответственно [2]. В результате сравнительного анализа переходных характеристик классической и двухкаскадной системы управления электроприводом постоянного тока можно сделать, что система регулирования с алгоритмом вывода Мамдани во внешнем каскаде обладает лучшим быстродействием относительно интеллектуальной системы с сочетанием механизмов вывода Сугено-Мамдани. Однако при этом система управления, функционирующая на базе двухкаскадного нечеткого регулятора с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани, формирует выходное воздействие без перерегулирования [3].

Рисунки 4 и 5 иллюстрируют функционирование двухкаскадного нечеткого логического регулятора по каждому каналу. Анализируя динамические характеристики, приведенные на рисунке 4, можно сделать вывод, что основную задачу формирования управляющего сигнала несет нечеткий регулятор «FLC2». Другие же два нечетких логических регулятора (рисунок 4, (а), (в))) осуществляют функцию поддержки заданного уровня.

Для случая алгоритма вывода Мамдани во внешнем каскаде интеллектуального регулятора основную задачу при формировании общего сигнала выполняет нечеткий регулятор, расположенный в среднем канале. Нечеткие регуляторы «FLC1» и «FLC3» выполняют функцию стабилизации итогового сигнала, выходящего с интеллектуального модуля [4].

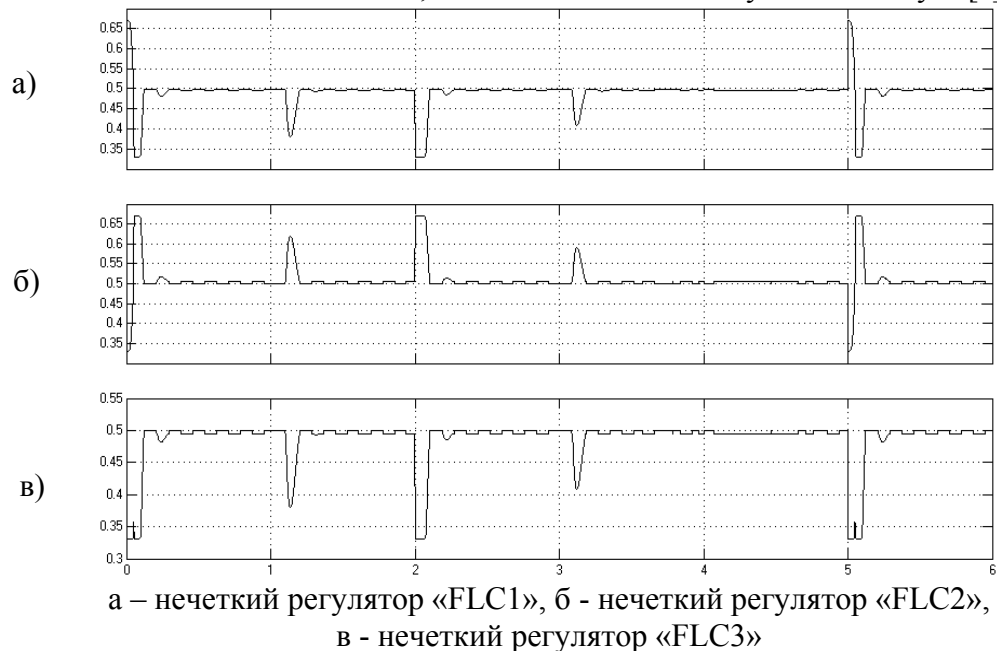


Рисунок 4 – Динамические характеристики, формирующие итоговый закон управления, для случая двухкаскадной системы с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани

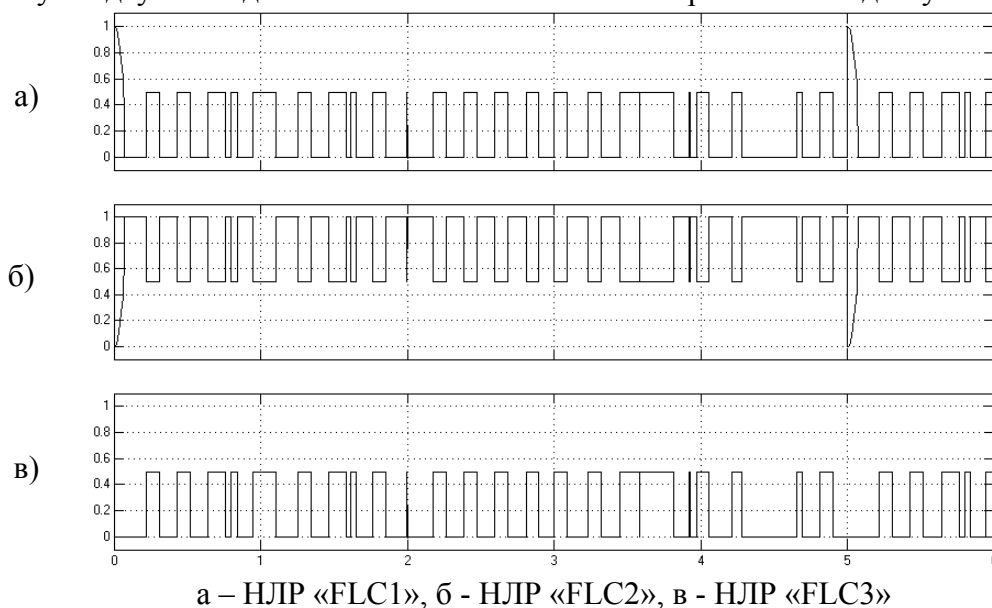


Рисунок 5 – Динамические характеристики, формирующие итоговый закон управления, для случая двухкаскадной системы с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани

### Заключение

Сравнительный анализ динамических характеристик на выходе двухкаскадного нечеткого логического регулятора и переходных процессов системы в целом позволяет сделать вывод, что предложенная технология внедрения интеллектуального регулятора в систему автоматического управления электроприводом постоянного тока взамен классического регулятора положения, позволяет получать качественные динамические характеристики и при этом значительно сокращает трудоемкость в ходе моделирования систем управления технологическим объектом.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Башарин, А. В. Управление электроприводами : учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. - Ленинград : Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. - 392 с.
2. Стельмашук, С. В. Синтез ПИД-регулятора системы автоматического регулирования с максимальным быстродействием и ограничением на перерегулирование / С. В. Стельмашук, А. Ю. Чернов // Электротехнические системы и комплексы. – 2012. – № 20. – С. 256-265. – EDN RPOSNR.
3. Трусов, Р. Е. Повышение точности мягких вычислений в системе поддержки процессов ситуационной оценки / Р. Е. Трусов, М. А. Горькавый // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. : материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2019 года. Том Часть 2. – Комсомольский-на-Амуре государственный университет: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. – С. 488-491. – EDN KLHJNZ.
4. Савельев, Д. О. Программный модуль нечеткого логического компенсатора нелинейных элементов / Д. О. Савельев, А. С. Гудим, В. Н. Хрульков // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 29–30 сентября 2017 года / С.В. Белых (отв. ред.). – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2017. – С. 128-131. – EDN YQFLQI.

УДК 681.5

Иванюта Ярослав Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Ivanyuta Yaroslav Sergeevich, 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

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ

### CONTROL SYSTEM FOR THE 3D PRINTING FILAMENT PRODUCTION AUTOMATED INSTALLATION

Аннотация. В работе рассматривается строение структуры системы управления автоматизированной установкой для изготовления филамента для 3D-печати. Были определены требования к работе системы управления. Также была разработана структурная схема системы управления, включающая в себя все управляемые звенья и показывающая какой путь проходит материал внутри устройства.

Abstract. The work examines the structure of the control system for an automated installation for the production of filament for 3D printing. Requirements for the operation of the control system were determined. A block diagram of the control system was also developed, which includes all the controlled links and shows which path the material takes inside the device.

Ключевые слова: Аддитивные технологии, аддитивное производство, 3D-печать, система управления

Key words: Additive technologies, additive manufacturing, 3D-printing, control system

### Введение

На сегодняшний день самым распространённым типом 3D печати является FFF печать, которая заключается в послойном наплавлении пластиковой нити. Такой метод позволяет использовать различные термопластичные полимеры для создания моделей. Также данный метод открывает большой пласт возможностей в исследовании самих полимеров, их составов и добавок [1-3].

Обычно для исследования свойств новых рецептур филаментов необходимо большое количество материала, получаемого из исходных гранул и порошков компонентов, входящих в его состав. Но при этом большинство аппаратов, производящих филамент, для обеспечения равномерности качества требуют загрузки больших объемов материала (обычно – не менее килограмма). Это вызвано тем, что при меньших объемах загрузки в нагревательной камере остаётся лишнее место, из-за которого расплавленный полимер не смешивается должным образом [4].

Таким образом, для мелкосерийного изготовления филамента (в исследовательских целях или для мастерских мелкосерийной печати) требуются небольшие аппараты для создания филамента, которые позволяют при загрузке менее 200 г получить материал хорошего качества, с равномерными по всей длине прутка свойствами. Также маленькие установки могут обладать дополнительными функциями для удобства пользователя, такими как автоматическая протяжка и намотка прутка на катушку, либо также наличие системы дозирования материала и добавок.

При построении таких аппаратов одной из задач является разработка системы управления, обеспечивающей совместное выполнение всех необходимых функций. Данная работа посвящена вопросам разработки такой системы управления.

### **Основная часть**

Разрабатываемая автоматизированная установка по производству филамента содержит следующие основные исполнительные элементы, реализующие основные функции:

- бункер с дозирующим механизмом. Используется для дозирования смешиваемых компонентов и их предварительного смешивания перед подачей в экструдер. Для корректной работы применяется два набора двигателей – двигатели дозирующего механизма и двигатели смешивания.

- экструдер, осуществляющий нагрев, расплавление и окончательное смешивание расплавленного материала, а также его проталкивание через сопло для формирования геометрии конечного прутка материала. Для этого используется набор нагревателей горячей зоны и главный привод, осуществляющий вращение шнека в этой горячей зоне.

- система вытягивания выдавленного через сопло филамента, необходимая для вытягивания выдавленного через сопло прутка для равномерного формообразования прутка по всей его длине. Для работы механизма системы протяжки используется двигатель системы вытягивания.

- система намотки филамента, используемая для намотки готового филамента на катушку для последующего хранения и транспортировки. Для обеспечения корректной работы системы намотки применяется два двигателя – двигатель вращения катушки и двигатель системы выравнивания витков [5].

Система управления должна управлять всеми основными системами устройства, выполняя следующие требования:

- Контроль массы в процессе дозирования компонентов в бункере и управление двигателями дозирования и смешивания;
- Управление температурой в различных фрагментах горячей зоны;
- Управление скоростью вращения главного двигателя привода вращения шнека;
- Управление двигателем системы протяжки филамента. Управление двигателем протяжки совместно с главным приводом должно обеспечивать постоянство диаметра выходного прутка;
- Управление двигателями системы намотки филамента с учетом изменения диаметра катушки при намотке новых слоев;
- Наличие графического или текстового интерфейса для взаимодействия с человеком.

На основании описанных требований была разработана структура системы управления, представленная на рисунке 1.

В связи с большим количеством контролируемых величин и процессов было принято решение о построении распределенной системы управления, состоящей из нескольких микроконтроллеров, каждый из которых управляет своим сегментом установки. Для общего

управления используется один главный микроконтроллер ESP32. Взаимодействие с человеком организовано посредством сенсорного экрана.

На схеме показаны основные элементы устройства, их взаимодействие друг с другом и с системой управления. Также на схеме показан путь материала от исходного сырья до охлаждённого выходного материала.

Так исходное сырьё загружается в дозирующий механизм, который по заданному весовому соотношению отмеряет необходимое количество материала и добавок, для предварительного смешивания их в бункере. Измерение веса материала происходит с помощью тензодатчика, находящегося на дне бункера. Смешивание сырья позволяет получить более однородные характеристики у выходного материала. Смешивание происходит с помощью двух смешивающих шнеков, приводящихся в движение шаговыми двигателями.

После смешивания материал попадает в горячую зону. Шнек горячей зоны приводится в движение двигателем постоянного тока с редуктором и реверсивным контроллером скорости. Скорость привода шнека (главного привода) можно задать с помощью ручного управления через сенсорный экран.

В горячей зоне находится четыре нагревателя, температура на которых задаётся вручную пользователем в зависимости от типа используемого полимера и индивидуального режима работы. Контроллер управления нагревателей горячей зоны подает сигналы на включение и выключение нагревателей в соответствии с сигналами, получаемыми от датчиков температуры в данных зонах.

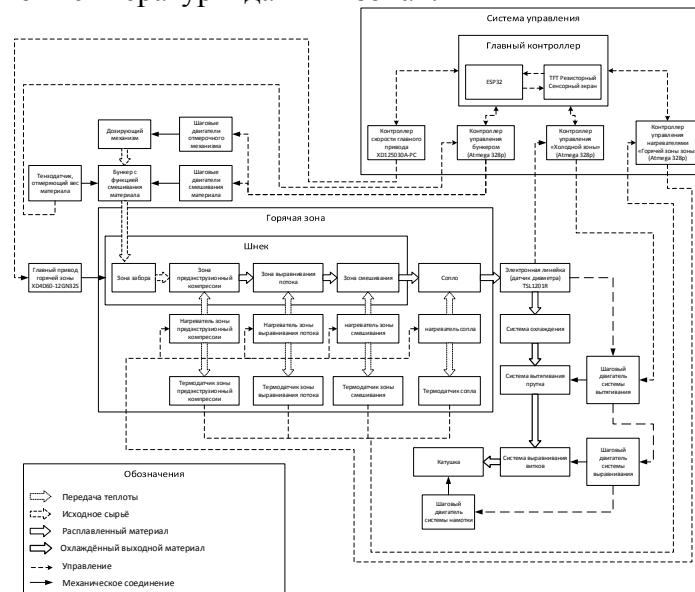


Рисунок 1 – структурная схема системы управления устройством

В конце горячей зоны из сопла выходит пруток материала, который проходит через электронную линейку, которая используется в качестве датчика диаметра филамента. Такое расположение датчика диаметра обусловлено необходимостью максимально быстрого отклика при отклонении от заданного диаметра. После измерения диаметра горячий пруток проходит зону охлаждения и продевается в механизм протяжки, изменение скорости двигателя которого позволяет изменить диаметр выходного материала.

После прохождения через механизм протяжки пруток попадает в механизм выравнивания витков, который позволяет наматывать катушку виток к витку. Данный механизм работает также от шагового двигателя, скорость которого зависит от скорости двигателя протяжки, а также от скорости двигателя механизма выравнивания витков зависит скорость шагового двигателя, который и наматывает пруток на катушку. Коррекция скорости намотки на катушку производится математически, учитывая параметры катушки, заданные вручную пользователем.

Таким образом, на катушке образуется необходимое количество материала для печати тестовых моделей, которые позволят исследовать характеристики этого материала и помочь в разработке более сложных и комплексных рецептов.

## **Заключение**

Разработка новых рецептур материалов для 3D печати на основе традиционно используемых полимеров позволяет использовать филамент с необходимыми на данный момент характеристиками для особо сложных моделей. В рамках данной работы рассмотрены вопросы разработки системы управления устройством, позволяющей автоматизировать процесс создания филамента из основного полимера и добавок.

Были определены основные функциональные требования системы управления, а также была разработана структурная схема с учётом всех управляемых устройств и пути, который проходит материал.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Дресвянников, В.А. Классификация аддитивных технологий и анализ направлений их экономического использования / В.А. Дресвянников, Е.П. Страхов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2018. – № 2 (26). – С. 16–28
2. Ермаковская, М.А. Технологии аддитивного производства как наиболее приоритетные современные цифровые технологии / М.А. Ермаковская, В.Ю. Аронов, В.А. Осанов // Инновации. – 2018. – № 7 (237). – С. 23-27.
3. Канищев, М. В. Введение в аддитивные технологии. Обзор основных технологий 3D-печати / М. В Канищев, Л. М. Ульев – Москва : НИТУ МИСИС 2023. – 352 с. – ISBN 978-5-907560-37-6.
4. Ильясова, А.В Исследование современного рынка пластиков, используемых для 3d-печати / А.В. Ильясова, О.А. Белицкая // Концепции, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий: сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической заочной конференции (25-27 марта 2020 г.). Часть 1. – Москва.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020.
5. Пыхтин, А.А. Исследование влияния нековалентных модификаторов на структуру и свойства полимерных филаментов для FDM-печати на основе АБСпластика и углеродных наночастиц / А.А. Пыхтин, А.Е. Сорокин, С.А. Ларионов, С.Л. Лонский // Труды ВИАМ. – 2021. – № 10 (104).

УДК 621.314.57

Кобозев Дмитрий Андреевич, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kobozev Dmitry Andreevich, master's student, 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-na-Amure State University

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРИВОДАМИ ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ НА КОМСОМОЛЬСКОЙ ТЭЦ-3**

## **EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF TECHNICAL MODERNIZATION OF THE CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC DRIVES OF FEED PUMPS AT KOMSOMOLSKAYA CHPP-3**

Аннотация. На тепловых электрических станциях длительное время существует потребность регулирования скорости электродвигателей механизмов собственных нужд. Наибольший экономический эффект достигается при регулировании скорости электродвигателей большой мощности. В данной статье даётся сравнение применения регулятора частоты с непосредственной связью и высоковольтного преобразователя частоты ВПЧА для регулирования скорости электродвигателей питательных насосов на Комсомольской ТЭЦ-3 мощностью 4000 кВт.

Annotation. At thermal power plants for a long time there is a need to regulate the speed of electric motors for their own needs. The greatest economic effect is achieved by regulating the speed of high-power electric motors. This article compares the use of a frequency controller with direct communication and a high-voltage HPV frequency converter for regulating the speed of electric motors of feed pumps at Komsomolskaya CHPP-3 with a capacity of 4000 kW.

Ключевые слова: частота, электродвигатель, питательный насос, преобразователь частоты, переменное напряжение.

Keywords: frequency, electric motor, feed pump, frequency converter, alternating voltage.

### Введение

Питательные насосы предназначены для подачи деаэрированной химически очищенной воды в барабан котлоагрегата. По конструкции питательные насосы центробежные, горизонтальные, имеет несколько последовательно установленных ступеней, с односторонним расположением рабочих колес и гидравлической пятой для восприятия осевого усилия [1].

Для регулирования скорости приводного электродвигателя питательного насоса, применяют различные методы регулирования скорости. Насосный агрегат может комплектоваться гидромуфтой либо частотным регулированием скорости приводного электродвигателя [2].

В систему водоснабжения котлоагрегата как правило устанавливают несколько насосов от 2 до 4. При этом на один из насосных агрегатов возлагается функция резервного водоснабжения. В ряде режимов водоподачи могут устанавливаться несколько насосных установок [3].

Для повышения точности подачи воды и экономии расхода воды в последние годы используют в системе управления питательным насосом замкнутый регулируемый электрический привод. Как правило, данный вид системы управления реализуется на основе частотного регулируемого электрического привода [4].

### Основная часть

Высоковольтные преобразователи частоты электродвигателей серии ВПЧА применяются для работы в комплекте с асинхронными электродвигателями для обеспечения энергоэффективности за счет плавного пуска и регулирования частоты вращения [5].

Недостатком преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения является относительно низкое КПД по сравнению с преобразователем частоты с непосредственной связью, сравнительно высокая стоимость особенно для высоковольтных систем электрических приводов и сравнительно низкая надежность [6].

Предлагается вместо двух одинаковых частотно-регулируемых электрических приводов насосов, реализованных на базе высоковольтных ПЧ-АИ выполнить один из регулируемых приводов по схеме НПЧ АД, без изменений работы насосов ПЭН на общую магистраль подачи воды, по структуре грубого и точного регулирования. Данная схема приведена на рисунке 1.

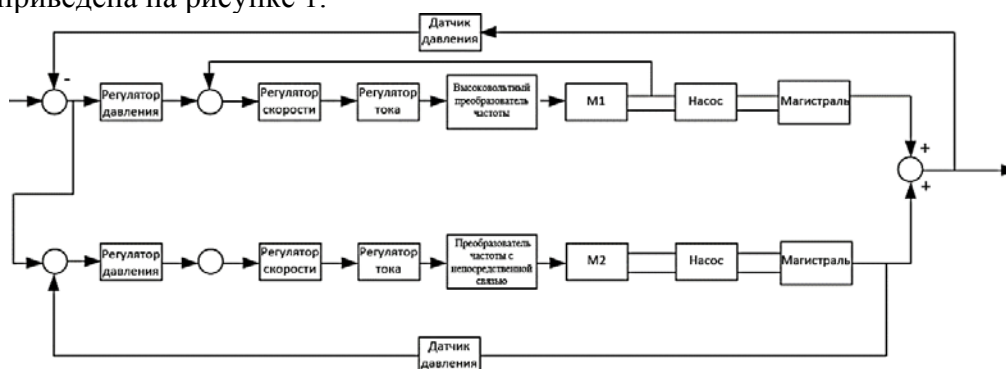


Рисунок 1 – Имитационная модель каскадного включения ПЭН

При этом контур грубого регулирования реализовать на основе электрического привода НПЧ, а точного регулирования на основе ПЧ АИ.

Такое построение системы обеспечит снижение электрического потребления в системе. В силу того, что основная масса перекачиваемой воды будет «пропускаться» через канал грубого регулирования, а КПД НПЧ отличается более высоким значением по сравнению с КПД ПЧ АИ, то через канал точного регулирования будет прокачиваться небольшая составляющая от общей массы питательной воды, определяемая ошибкой в поддержании давления в канале грубого регулирования [7].

Проведем анализ экономической выгоды работы контура грубого регулирования, реализованного на основе электрического привода НПЧ, а точного регулирования на основе ПЧ АИ.

На рисунке 2 представлен график нагрузки генератора.

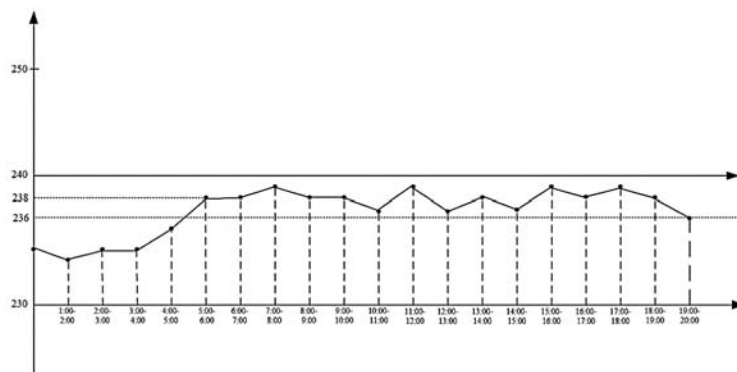


Рисунок 2 – График нагрузки генератора

На основе приведенных выше данных рассчитаем потери электроэнергии с учетом работы контура грубого регулирования, реализованного на основе электрического привода НПЧ, а точного регулирования на основе ПЧ АИ.

$$P_{АИН} = K_{заг} \cdot P_{нАИН},$$

$$P_{НПЧ} = K_{заг} \cdot P_{нНПЧ}.$$

где  $K_{заг}$  – коэффициент загрузки.

Так как предлагается, что через канал грубого регулирования будет перекачиваться основная масса перекачиваемой воды, то коэффициент загрузки для этого контура принимается равным 1.

$$P_{АИН} = 0.08 \cdot 4500 = 360 \text{ кВт},$$

$$P_{НПЧ} = 1 \cdot 4500 = 4500 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{АИН} = P_{АИН} - K_{заг} \cdot P_{АИН},$$

$$\Delta P_{НПЧ} = P_{НПЧ} - K_{заг} \cdot P_{НПЧ}.$$

Найдем значение потерь электроэнергии, кВт/ч

$$\Delta P_{АИН} = 360 - 360 \cdot 0.96 = 14.4,$$

$$\Delta P_{НПЧ} = 4500 - 4500 \cdot 0.985 = 67.5.$$

Проведем аналогичный расчет системы работы двух питательных насосов на основе ПЧ АИ.

$$P_{АИН} = K_{заг} \cdot P_{нАИН},$$

$$P_{АИН} = K_{заг} \cdot P_{нАИН}.$$

Коэффициент загрузки в этом случае для одного ПЧ АИ будет равен 0.9, для другого 0.18.

$$P_{АИН} = 0.18 \cdot 4500 = 810 \text{ кВт},$$

$$P_{НПЧ} = 0.9 \cdot 4500 = 4050 \text{ кВт}.$$

Найдем значение потерь электроэнергии, кВт/ч.

$$\Delta P_{АИН} = P_{АИН} - K_{заг} \cdot P_{АИН},$$

$$\Delta P_{АИН} = P_{АИН} - K_{заг} \cdot P_{АИН},$$

$$\Delta P_{АИН} = 810 - 810 \cdot 0.96 = 32.4,$$

$$\Delta P_{НПЧ} = 4050 - 4050 \cdot 0.96 = 162.$$

При замене одного ПЧ АИ на НПЧ экономия электроэнергии составляет 112.5 кВт/ч.

## **Заключение**

Таким образом, при замене одного из преобразователей ПЧ АИ на НПЧ мы имеем существенную экономию электроэнергии. С учетом того, что произошла оптимизация технологического процесса и учитывая, что стоимость НПЧ значительно ниже стоимости ПЧ АИ такая замена более чем оправдана.

На каждом конкретном предприятии энергетики должна быть выбрана своя система регулирования электропривода питательного насоса с учетом мощности электропривода, его напряжения, стоимости оборудования и возможности размещения оборудования на действующем предприятии, а также при проектировании нового энергообъекта.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Гельман, М.В. Преобразовательная техника. учебное пособие / Гельман, М.В, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский – Издательский центр «ЮУрГУ» 2009. – 409 с.
2. Руденко, В.С. Основы преобразовательной техники / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко – Москва : Высшая школа, 1980. – 422 с.
3. Чиженко, И.М. Преобразовательная техника : Справочник/ под ред. И.М. Чиженко. – Киев : Техника, 1978. – 477 с.
4. Васильченко, С.А. Преобразовательная техника : учебное пособие для электротехнических специальностей вузов / С.А.Васильченко, Н.Е.Дерюжкова, В.А.Соловьев – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ»,2004.–115с.
5. Горбачев, Г.Н. Промышленная электроника : Учебник для вузов / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.
6. Соловьев, В. А. Системы управления электроприводами. Часть 1: Учебно-методическое пособие / В. А. Соловьев – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2004. – 153 с.
7. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника / Ю.С. Забродин – Москва : Высшая школа, 1982. – 494 с.

УДК 62-531.9

Кузнецов Дмитрий Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuznetsov Dmitry Evgenievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Мешков Александр Сергеевич, кандидат технических наук доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Meshkov Alexander Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Drive and Automation of Industrial Installations, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИЛОВОЙ КОРРЕКЦИИ В СИСТЕМЕ «ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА»**

### **APPLICATION OF FORCE CORRECTION IN THE “THYRISTOR CONVERTER – DC MOTOR” SYSTEM**

Аннотация. В изложенной работе проводится исследование системы регулирования электрического привода на базе двигателя постоянного тока с параллельной силовой коррекцией. Приводится актуальность таких систем в современных установках. Разработана функциональная модель на базе которой создана математическая модель. Результаты такого исследования могут быть полезными для применения в энергетической промышленности.

Abstract. In the presented work, a study is carried out of the control system of an electric drive based on a DC motor with parallel force correction. The relevance of such systems in modern installations is given. A functional model was developed on the basis of which a mathematical model was created. The results of this study may be useful for industrial, automation and energy efficiency applications.

Ключевые слова: математическая модель, практическое применение, оптимизация системы.  
Key words: mathematical model, practical application, optimize system.

### **Введение**

В современном мире технологий системы регулирования электропривода имеют значительный объём, в зачатку они применяются в промышленности. Основной задачей регулирования электропривода является стабилизация скорости и момент двигателя. К таким системам выдвигается ряд требований. Они должны иметь широкую полосу пропускания частот, обеспечивать высокую точность стабилизации скорости и момента, иметь малое время переходных процессов по скорости, обеспечивать плавное регулирование выпрямленного напряжения, и обеспечивать кратковременный максимальный ток.

Использование в системе быстродействующих источников питания позволяет удовлетворять данным требованиям, однако, их установка высокочувствительная. Внедрение в систему параллельной силовой коррекции позволяет сократить расходы на быстродействующие источники питания, а также решить ряд проблем [1]. Пусковые токи при работе двигателей, которые значительно превышают номинальные токи оказывают негативные факторы на износостойкость и работоспособность механизмов, а также вызывают значительный нагрев.

Использование в системе параллельной силовой коррекции позволяет значительно снизить потери электрической энергии что является положительным фактором для работоспособности и износостойкости механизмов, такое решение уменьшает нагрузку на систему что приводит к меньшему нагреву [2]. Данное решение способствует улучшению быстродействия системы, что приводит к повышенному отклику системы, и повысит ее точность позиционирования

### **Основная часть**

Силовая коррекция – это процесс который позволяет улучшить качества электрической энергии путем устранения нежелательных электрических явлений системах, к таким относят искажения напряжения, искажения тока, перенапряжения и электрические помехи [3].

Такой эффект достигается путем внедрения устройств, которые имеют название устройства силовой коррекции, которые подключаются к электрической системе. Они способны регулировать нежелательные явления, приводящие к потерям электрической энергии и снижению эффективности системы. При таком решении в системе будет два управляемых источника постоянного тока, один из которых ориентирован на обеспечение грубой стабилизации выходных параметров, а второй обладая более высоким быстродействием и точность, заточен на обеспечение точного поддержания параметров на заданном уровне (рисунок 1). Такие системы устанавливаются для обеспечения стабильности и надежности электрической системы. Они позволяют продлить срок службы оборудования и увеличить его эффективность [4]. Метод улучшения статических и динамических характеристик системы электропривода с использованием СКЗ является одним из наиболее эффективных решений для средних и крупных установок. Рассмотрим принцип работы параллельной коррекции в приводах постоянного тока, состоящих из следящих устройств. Питание якорной обмотки двигателя осуществляется от тиристорного преобразователя совместно с широкоимпульсным транзисторным преобразователем мощностью 20-25% от номинальной мощности нагрузки.

Его производительность на порядок выше, чем у тиристорного преобразователя. В такой системе параллельно двигателю включаются широкоимпульсный преобразователь и тиристорный преобразователь. Такое решение позволяет использовать тиристорный преобразо-



ватель для плавного изменения параметров тока при заданных размерах. Быстро меняющиеся составляющие тока с амплитудой не более 20-25% от номинального тока якоря определяют быстродействующую ШИМ. В случаях, когда используется неотъемлемая составляющая действующего закона регулирования, установленная мощность трансформатора будет соизмерима с номинальной мощностью двигателя [5].

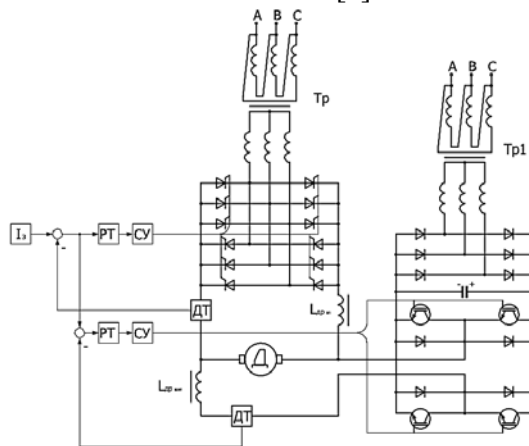


Рисунок 1 – Функциональная модель.

В качестве тиристорного приемника использована реверсивная трехфазная мостовая схема с раздельным управлением. Параллельная коррекция мощности осуществляется мостовым реверсивным широтно-импульсным преобразователем с симметричным управлением, математическая модель представлена на рисунке 3. Схему можно представить в упрощенном виде (рисунок 2).

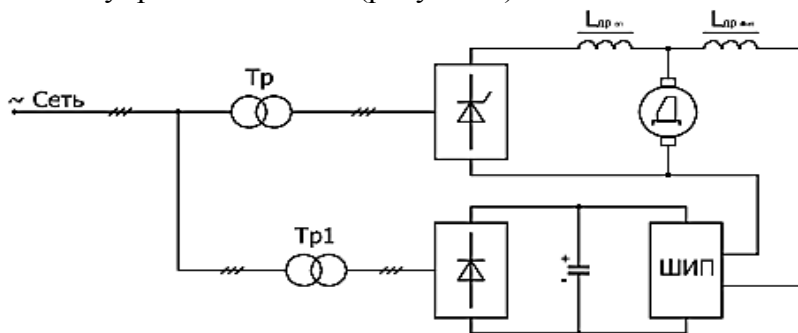


Рисунок 2 – Упрощенная функциональная модель.

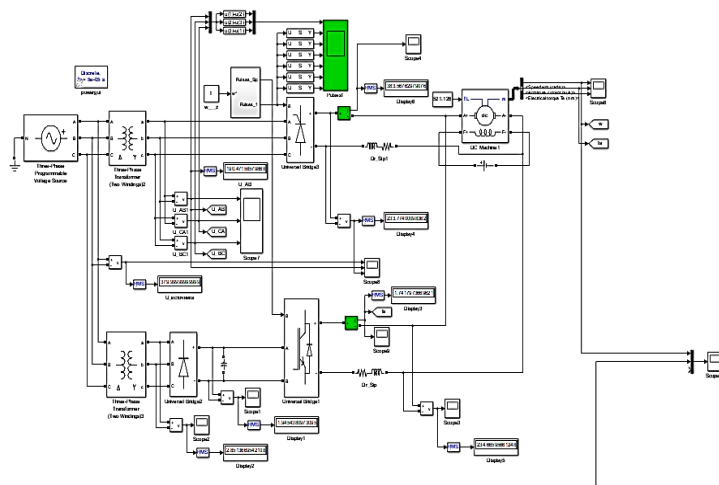


Рисунок 3 – Математическая модель

Для анализа системы регулирования электропривода постоянного тока на базе ТП с СКЗ смоделируем работу схемы, представленной выше. Полученные графики переходных процессов сопоставим с системой ТП-ДПТ. Настройка контура скорости

произведена на симметричный оптимум. Что обеспечивает отсутствие статических ошибок по управлению и возмущению. К недостаткам такой настройки можно отнести большое перерегулирование при отработке ступенчатых возмущений.

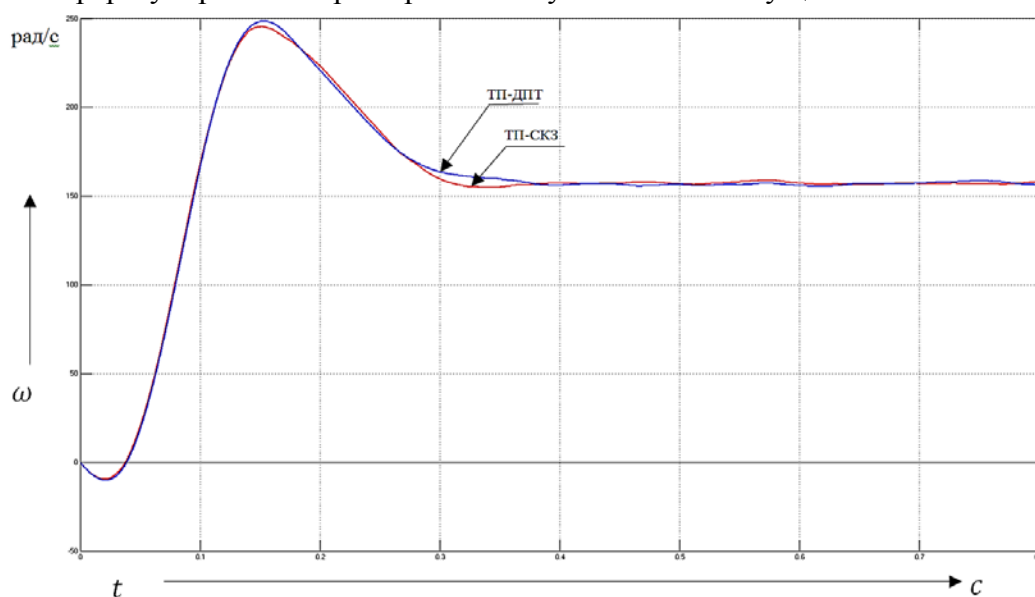


Рисунок 4 – Переходной процесс по скорости двигателя ТП-ДПТ и ТП-СКЗ.

На рисунке 4 представлен график изменения скорости относительно времени, из которого видно, что ТП-СКЗ завершает переходный процесс быстрее, чем кривая ТП-ДПТ. ТП пропускает медленно изменяющиеся составляющие тока. Быстро изменяющиеся токи приходится на быстродействующий ШИП при условии воздействия тока 20-25% от номинальных значений тока якоря.

#### Заключение

Система электропривода постоянного тока с параллельной силовой коррекцией представляет собой эффективное решение в области электротехники. Ее применение позволяет улучшить энергетическую эффективность и точность управления двигателем, а также минимизировать потери энергии. Проведенные исследования и полученные графики переходных процессов показывают, что при использовании ТП-СКЗ переходной процесс завершается быстрее, а пи-регулирование незначительно меньше. Что говорит о необходимости дальнейших исследований в данной области.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чебовский, О. Г. Силовые полупроводниковые приборы / О. Г. Чебовский Л.Г. Моисеев, Р.П. Недошивин. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 400 с.
2. Ковалева, Ф. И. Полупроводниковые выпрямители / Ф.И. Ковалева Г.П. Мостковой – Москва : Энергия, 1978 – 320 с.
3. Маевский, О. А. Энергетические показатели вентильных преобразователей / О.А. Маевский – Москва : Энергия, 1978 – 320 с.
4. Руденко, В. С. Основы преобразовательной техники / В.С. Руденко, В. И. Сенько, И. М. Чиженко. – Москва : Высшая школа, 1980. – 422 с.
5. Герман-Галкин С. Г. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК / Г.А. Кардонов, С.Г. Герман-Галкин – Санкт-Петербург : КОРОНА принт, 2003. – 256 с.

УДК 681.58

Литвинцева Анастасия Алексеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Litvintseva Anastasiya Alekseevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Пазий Елизавета Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Pazij Elizaveta Aleksandrovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Савельева Алена Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savelyeva Alena Sergeevna, 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

## **ОСОБЕННОСТИ НАЛИЧИЯ ЗАДЕРЖЕК ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В КАНАЛАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТА ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ**

### **PECULIARITIES OF DATA TRANSMISSION DELAYS IN THE CONTROL CHANNELS OF A HIGH-RISK FACILITY**

Аннотация. В статье рассмотрены основные системы обеспечения безопасности транспортного средства. Приведены описания представленных систем, а также выявлены системы контроля движения, нуждающиеся в улучшении качества процессов управления ими для повышения безопасности движения на дорожно-транспортной сети. Выявлены нелинейности в системе управления, ухудшающие работу исполнительных механизмов.

Abstract. The article considers the main systems for ensuring vehicle safety. The descriptions of the presented systems are given, and the traffic control systems that need to improve the quality of their control processes to improve traffic safety on the road transportation network are identified. Nonlinearities in the control system that deteriorate the performance of actuators are identified.

Ключевые слова: система управления, дискретно-событийные системы, транспортное средство, нелинейный элемент.

Key words: control system, discrete event systems, vehicle, nonlinear element.

#### **Введение**

Автомобильная промышленность, начиная с самого начала своего развития, занимает одну из ведущих позиций в потреблении продукции черных и цветных металлургий, электротехнических, химических и стекольных отраслей. Однако происходит это не просто так, а из-за постоянного улучшения показателей безопасности производимых транспортных средств, являющихся источником повышенной опасности для участников дорожного движения. Так, основной тенденцией в развитии автомобилестроения является внедрение новых технологий, обеспечивающих безопасность водителя и пассажиров. Однако наличие нелинейных элементов в системах управления может привести к нежелательным результатам. Так, например, наличие задержек в каналах управления ухудшает регулирование исполнительных механизмов, отвечающих за безопасность всех участников движения. Снижение эффективности системы управления в таком случае может привести к ограничению скорости реагирования системы на управляющее воздействие, что может повлиять на непредсказуемость поведения объекта регулирования и создать аварийную ситуацию.

#### **Основная часть**

К ключевым системам безопасности автотранспорта можно отнести следующие системы, интегрируемые в данный момент в транспортные средства в большей степени: система автоматического торможения «Automatic BS» (Automatic Braking System), система контроля полосы движения «LDWS» (Lane Departure Warning System), система адаптивного круиз-контроля «ACC» (Adaptive Cruise Control), система предупреждения о столкновении с функцией автоматического аварийного торможения, система помощи при парковке «PAS» (Parking Assistance System), антиблокировочная тормозная система «ABS» (Anti-lock Braking System), а

также система управления тяговым усилием «TCS» (Traction Control System). Несмотря на наличие различных электронных систем, внедряемых в транспортные средства (представляющих опасность для жизни человека), являющихся неотъемлемой частью повседневной жизни, такие системы требуют постоянного улучшения для повышения надежности управления и качества процессов, протекающих в этих системах [1; 2].

Одной из проблем в электронных устройствах, отвечающих за системы контроля движения, являются задержки в системах управления. Наличие задержек в сигналах управления системами контроля движения автомобиля может негативно сказаться на безопасности движения. Задержки могут возникать из-за различных факторов, таких как помехи, ошибки в программном обеспечении или аппаратные проблемы. Так, например, в системах TCS и ABS могут возникать задержки в каналах связи из-за возникающих расхождений в значениях при управлении механическими элементами объекта, такими как гидравлические механизмы тормозной системы. В результате возникновения задержек, системы управления не могут своевременно реагировать на изменение ситуации на дороге, что может привести к аварийным ситуациям. Применение дискретно-событийного моделирования систем (DES) [3; 4] позволит увидеть наличие нелинейных элементов в системе управления [5] и исследовать их влияние на системы контроля движения.

### **Заключение**

Минимизация длительности задержек в системах управления тормозными механизмами не только является актуальной задачей с точки зрения исследования их влияния на сопутствующие процессы разгона и торможения объекта регулирования, но и за счет уменьшения их влияния посредством компенсации, что позволит уменьшить тормозной путь при экстренном торможении, уменьшая риски возникновения опасных ситуаций по вине оборудования. Исходя из данных выводов, уменьшение задержек в системах безопасности позволит обеспечить более быструю и эффективную работу систем в опасных дорожно-транспортных ситуациях.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Simulation of a discrete event system for process control of robotic casting / S. P. Cherny, D. O. Savelyev, A. S. Savelyeva [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Novosibirsk, 12–14 мая 2021 года. – Novosibirsk, 2021. – P. 012080. – DOI 10.1088/1742-6596/2032/1/012080. – EDN YOJXBZ.

2. Муравьев, Е.М. Моделирование нечетких логических регуляторов в системах управления объектами городского трафика / Муравьев Е.М., Савельев Д.О., Черный С.П., Бузикаева А.В. 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. 76-79.

3. Шапараев, Ф.А. Применение дискретных и непрерывных сигналов при имитационном моделировании физических объектов / Шапараев Ф.А., Носаченко Р.А., Литвинцева А.А., Савельев Д.О. В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 296-298.

4. Мельникова, С.Е. Возможность применения DES-технологии для минимизации длительности задержек в системах управления / Мельникова С.Е., Савельева А.С., Пазий Е.А., Савельев Д.О. В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 240-242.

5. Савельев, Д.О. Программный модуль нечеткого логического компенсатора нелинейных элементов / Д. О. Савельев, А. С. Гудим, В. Н. Хрульков // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 29–30 сентября 2017 года / С.В. Белых (отв. ред.). – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2017. – С. 128-131. – EDN YQFLQI.

УДК 004.896

Лямин Михаил Андреевич, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lyamin Mikhail Andreevich, Master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бузикаева Алина Валерьевна, старший преподаватель, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Buzikaeva Alina Valerevna, Senior Lecturer, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ ДВУХКАСКАДНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ**

### **IMPLEMENTATION OF THE PRINCIPLE OF CONSTRUCTION OF A TWO-STAGE FUZZY CONTROLLER USING THE EXAMPLE OF AN ELECTRIC DRIVE SYSTEM WITH TWO-ZONE SPEED CONTROL**

Аннотация. В работе осуществляется синтез интеллектуальной системы управления электроприводом постоянного тока с двухзонным регулированием скорости в режимах работы «до номинальной скорости» и «выше номинальной скорости» с различными сочетаниями алгоритмов нечеткого логического вывода. Проведено моделирование интеллектуальной системы управления, а также системы с применением классических подходов. Исследованы динамические характеристики классической и интеллектуальной систем управления.

Abstract. The work synthesizes an intelligent control system for a DC electric drive with two-zone speed control in operating modes “up to rated speed” and “above rated speed” with various combinations of fuzzy logical inference algorithms. The simulation of an intelligent control system, as well as a system using classical approaches, was carried out. The dynamic characteristics of classical and intelligent control systems have been studied.

Ключевые слова: электропривод постоянного тока с двухзонным регулированием скорости, интеллектуальная система управления, двухкаскадный нечеткий логический регулятор, алгоритмы нечеткого вывода

Key words: DC electric drive with dual-zone speed control, intelligent control system, two-stage fuzzy logic controller, fuzzy inference algorithms

#### **Введение**

За последнее время в технологии автоматизации сложных объектов сложилась устойчивая тенденция к использованию нечетких логических регуляторов. Интеллектуализация методов управления играет ключевую роль при реализации законов регулирования в системах автоматизации технологическими процессами. Однако для решения задач по управлению стандартный подход к построению интеллектуальных систем, использующих в основе теорию нечетких множеств, не всегда позволяет достичь желаемого результата при моделировании. Кроме того электроприводы постоянного тока с двухзонным регулированием скорости характеризуются более высоким порядком математического описания модели, а также наличием ряда нелинейностей. Типичный метод нечеткого управления для такого рода систем будет сопровождаться увеличением объема базы знаний, а также введением дополнительных лингвистических переменных. Поэтому является актуальным внедрение в такие системы автоматического управления двухкаскадных нечетких логических регуляторов, которые позволят за счет структурного усложнения добиться желаемых показателей качества регулирования, а также повышения интеллектуальных свойств системы в целом.

### Основная часть

На рисунке 1 приведена структурная схема интеллектуальной системы управления с двухзонным регулированием скорости [1].

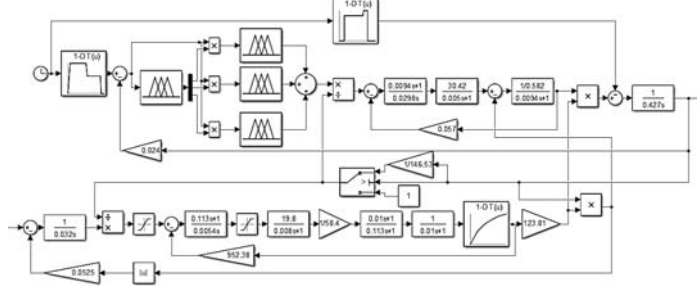


Рисунок 1 – Структурная схема интеллектуальной системы управления с двухзонным регулированием скорости

Путем подачи сигнала сложной ступенчатой формы на вход системы (рисунок 2) была проведена оценка поведения классической и интеллектуальной системы управления [2].

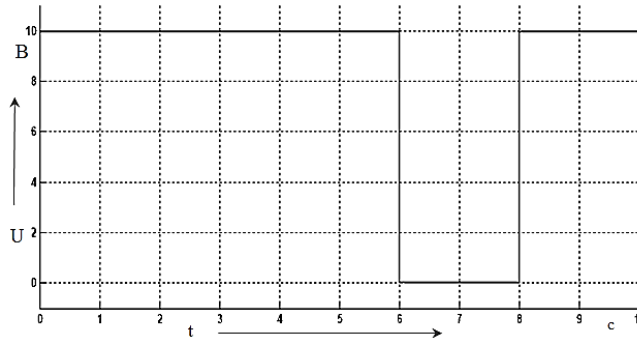
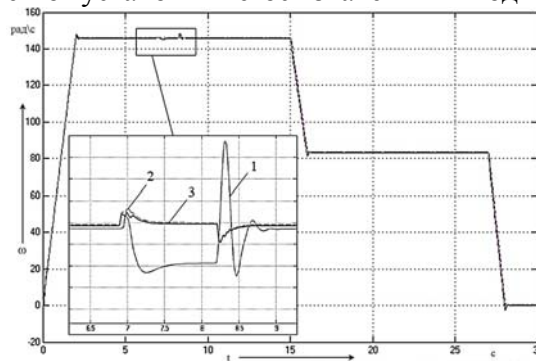


Рисунок 2 – Задающий сигнал ступенчатой формы

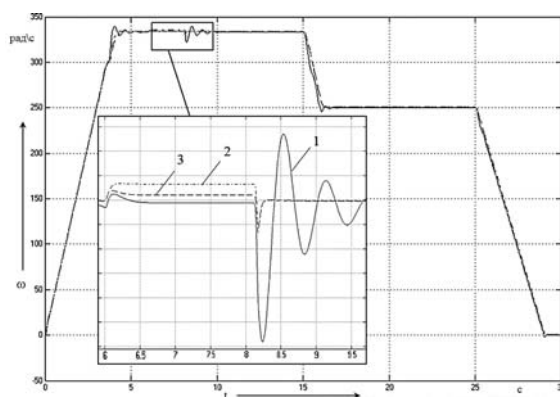
В результате синтеза интеллектуальной системы управления с двухзонным регулированием скорости были получены динамические характеристики, позволяющие оценить основные показатели качества регулирования технологического процесса (рисунок 3 и 4), и проведен анализ поведения нечеткой системы с различными сочетаниями алгоритмов вывода двухкаскадного регулятора в режимах работы «до номинальной скорости» и «выше номинальной скорости» [3].

Переходные характеристики, приведенные на рисунке 3, наглядно отображают преимущества двухкаскадной системы управления относительно классической системы с двухзонным регулированием скорости. При этом необходимо отметить, что интеллектуальная система с нечетким регулятором с сочетанием механизмов вывода Мамдани-Мамдани обладает меньшим отклонением от установившегося значения выходной характеристики.



1 – система с классическим регулятором, 2 – интеллектуальная система с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани, 3 – интеллектуальная система с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани

Рисунок 3 – Динамические характеристики классической и двухкаскадной нечеткой системы регулирования электроприводом постоянного тока в режиме работы «до номинальной скорости»



1 – система с классическим регулятором, 2 – интеллектуальная система с сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани, 3 – интеллектуальная система с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани

Рисунок 3 – Динамические характеристики классической и двухкаскадной нечеткой системы регулирования электроприводом постоянного тока в режиме работы «выше номинальной скорости»

Аналогичным образом осуществлялся синтез двухкаскадной систем управления с двухзонным регулированием скорости в режиме работы «выше номинальной», в результате чего были получены динамические характеристики, приведенные на рисунке 3. Интеллектуальная система управления с сочетанием алгоритмов вывода Мамдани-Мамдани проявляет робастные свойства и обладает минимальным отклонением от номинального значения относительно двухкаскадной нечеткой систем с альтернативным сочетанием алгоритмов вывода Сугено-Мамдани. В целом интеллектуальная система управления с двухзонным регулированием скорости обладает лучшими показателями качества переходного процесса, что позволяет говорить о правомерности внедрения предложенного подхода [4].

### Заключение

В заключение необходимо отметить, что применение методов мягкого вычисления в системах автоматического управления технологическими объектами позволяет оптимизировать переходные процессы двухзонного регулирования при существенном изменении параметров объекта управления и его режима работы. Кроме того, динамические характеристики, полученные в результате моделирования интеллектуальной системы, основанной на теории нечетких множеств, характеризуются лучшими показателями качества по быстродействию, относительно систем управления, реализующих традиционный ПИ-закон.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Башарин, А. В. Управление электроприводами : учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. - Ленинград : Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. - 392 с.
2. Savelyev, D. O. Stabilizing the transients in the objects and systems controlling the compensation of nonlinear ACS (Automatic Control System) elements / D. O. Savelyev, A. S. Gudim, D. B. Solovev // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019, Vladivostok, 01–02 марта 2019 года. – Vladivostok, 2019. – P. 8725324. – DOI 10.1109/Eastconf.2019.8725324. – EDN LTRLHU.
3. Соловьев, В. А. Моделирование статического тиристорного компенсатора в системе энергоснабжения дуговой сталеплавильной печи / В. А. Соловьев, Н. Е. Дерюжкова, А. В. Купова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2014. – Т. 14, № 2. – С. 23-28. – EDN SGMRCJ.
4. Cherniy S.P. Analysis of approaches to modelling the fuzzy control systems with extension of their functional capabilities / S. P. Cherniy, V. I. Susdorf, A. V. Buzikaeva, V. N. Khrulkov // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. – 2021. – No. 31. – P. 4. – DOI 10.4108/eai.13-7-2018.165496. – EDN RVZZPA.

УДК 681.5

Лямин Михаил Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Lyamin Mikhail Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Черный Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
«ЭПАПУ», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Chernyy Sergey Petrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of  
Electric Drive and Automation of Industrial Installations Department, Komsomolsk-na-  
Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

### **STUDY OF INTERCONNECTIONS IN MULTI-ENGINE SYSTEMS USING THE EXAMPLE OF A ROBOTIC TRANSPORT COMPLEX FOR MAIN PIPELINES**

Аннотация. В данной работе представлен анализ возможных вариаций конструкции узлов позиционирования робототехнического транспортного комплекса для магистральных трубопроводов. Проведен анализ взаимного влияния электроприводов типа мотор-колесо при решении задачи позиционирования сложным технологическим объектом. Выявлено, каким образом организуются связи, влияющие на моменты развиваемые электродвигателями и их передачу через связывающую конструкцию с заданной геометрией друг на друга.

Abstract. This paper presents an analysis of possible variations in the design of positioning units of a robotic transport complex for main pipelines. An analysis of the mutual influence of electric drives of the motor-wheel type was carried out when solving the problem of positioning a complex technological object. It has been revealed how connections are organized that influence the moments developed by electric motors and their transmission through a connecting structure with a given geometry to each other.

Ключевые слова: взаимосвязанный электропривод, математическая модель, многодвигательная система.

Key words: interconnected electric drive, mathematical model, multi-motor system.

#### **Введение**

Транспортировка энергетических ресурсов с применением магистральных трубопроводов отличается надёжностью и скоростью, однако в реалиях изменчивого ландшафта территорий РФ в общем и Дальнего востока в частности, зачастую при строительстве трубопроводных магистралей возникает необходимость использовать трубопровод переменного диаметра, с введением поворотных сегментов с наклонными сегментами. Это формирует ряд задач по разработке и созданию специализированных робототехнических устройств, для автоматизации целого класса технологических операций протекающих внутри магистральных трубопроводов при выполнении работ по его прокладке и обслуживанию с учётом упомянутых возможных параметров трубопровода. Одним из таких устройств является разрабатываемый в рамках инициативной внутривузовской НИР робототехнический транспортный комплекс (РТК) для автоматизации различных технических процессов внутри трубопроводов различной конфигурации. Важным элементом РТК является система электроприводов типа мотор-колесо, установленных на модулях позиционирования комплекса. В составе РТК задачей этой системы является обеспечение движения по внутренней стенке трубопровода. Учитывая привязку системы автономных приводов к корпусу РТК, необходимо проанализировать возможные взаимосвязи между электроприводами для построения системы согласованного управления этими электроприводами [1; 5].

#### **Варианты реализации узла позиционирования**

Для адекватной оценки возможных взаимосвязей между электроприводами необходимо понимать, как они связаны между собой с точки зрения геометрии. Основ-

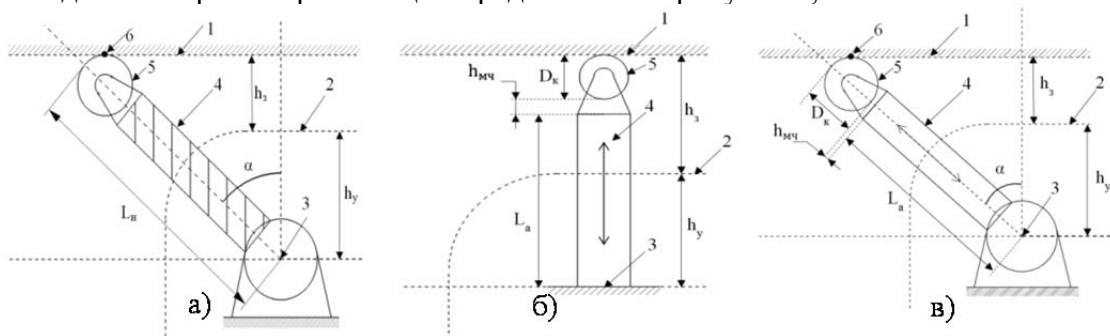


ное тело РТК представляет собой цилиндрической формы конструкцию постоянного диаметра. Позиционирование РТК внутри трубы осуществляется набором ног, определение строения которых является одной из задач данной работы. Задачей позиционирования является совмещение осей вращения трубы и тела РТК. Реализовать узлы позиционирования возможно несколькими различными вариантами [2; 3].

1 вариант – Длина ноги принимается константой, изменяется угол поворота. В данном варианте решения задачи основная длина ноги является неизменной, позиционирование осуществляется за счёт поворота их относительно центральной оси РТК. Схематический вид этого варианта реализации представлен на рисунке 1, а.

2 вариант – Угол принимается константой, изменяется длина наклона. В этом варианте исполнения нога жёстко зафиксирована внутри корпуса РТК, а изменению подлежит её длина. Угол фиксации относительно оси корпуса РТК принимается  $90^\circ$ . Схематический вид этого варианта реализации представлен на рисунке 1, б.

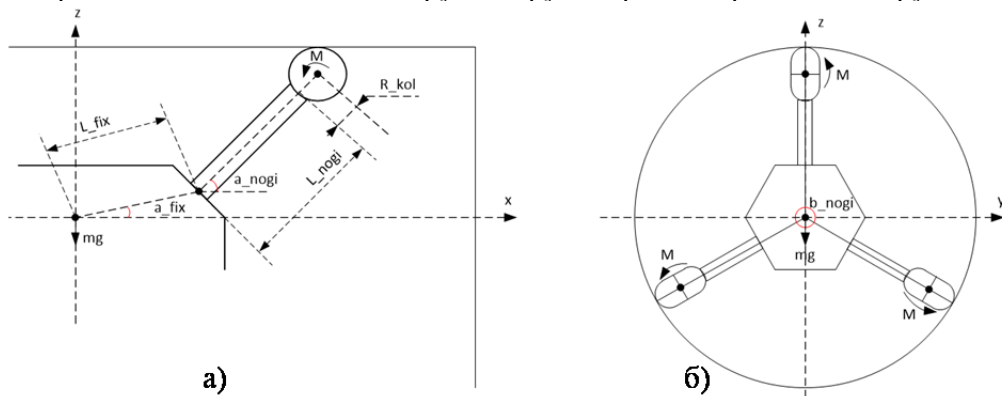
3 вариант – Изменяться могут и угол поворота и длина ноги. В данном варианте решения задачи в зависимости от ширины зазора между корпусом РТК и стенкой трубы могут изменяться как длина ноги, так и угол наклона ноги. Такой подход может быть в особенности удобен при движении РТК по изогнутым сегментам магистрального трубопровода с той точки зрения, что при таком подходе, возможно, более точно обеспечить такое позиционирование РТК при котором ни внешние детали корпуса, ни закреплённое на РТК оборудование не будет касаться внутренней стенки трубы. Схематический вид этого варианта реализации представлен на рисунке 1, в.



а – первый вариант, б – второй вариант, в – третий вариант  
Рисунок 1 – Варианты реализации узла позиционирования

### Вывод формулы взаимосвязи

Не смотря на сложность расчетов, третий вариант конструктивного решения строения узла позиционирования представляется наилучшим из-за того что с его помощью возможно более точно и гибко позиционировать РТК внутри трубы. Такая гибкость будет необходима в моменты, когда перед РТК будет стоять задача проехать по поворотному сегменту трубы. Исходя из этого, представляется возможным сформировать формулу момента, который двигатели оказывают друг на друга через центр масс конструкции.



а – связи в плоскости XZ, б – связи в плоскости YZ

Рисунок 2 – Геометрия взаимосвязи между электродвигателями

Формула взаимосвязи:

$$M_{sv_1} = (M_2 \cdot K a_{nogi} \cdot K_{fix} + M_3 \cdot K a_{nogi} \cdot K_{fix}) \cdot K b_{nogi} - m g \cdot K a_{nogi} \cdot K_{fix}$$

где:  $L_{nogi}$  – длина ноги;  $a_{nogi}$  – угол наклона ноги;  $L_{fix}$  – расстояние от центра масс до фиксации ноги;  $a_{fix}$  – угол между отрезком от центра масс до точки фиксации;  $R_{kol}$  – радиус колеса;  $b_{nogi}$  – угол разводки ног;  $m$  – масса РТК;  $K_{fix} = \sin(a_{fix}) \cdot L_{fix}$  – коэффициент передачи момента от центра масс до точки фиксации ноги;  $K a_{nogi} = \sin(a_{nogi}) \cdot (L_{nogi} + R_{kol})$  – коэффициент передачи от точки фиксации ноги до вала мотор-колеса в плоскости XZ (рисунок 2, а);  $K b_{nogi} = \sin(b_{nogi}) \cdot (L_{nogi} + R_{kol} + K_{fix})$  – коэффициент передачи от вала двигателя до центра масс в плоскости YZ (рисунок 2, б).

### Заключение

В рамках проведённых работ было выведено математическое описание взаимосвязи между электроприводами типа мотор-колесо установленных на концах узлов позиционирования РТК исходя из геометрии строения комплекса. Формула описывает, как моменты с двигателями передаются через тело РТК друг на друга, при этом учитывается так же и влияние веса основного тела. В дальнейшем полученные результаты, возможно, использовать для построения имитационных моделей взаимосвязанного электропривода и учитывать при расчёте регулирующих устройств [4].

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стельмашук, С. В. Согласованное управление однотипными объектами без учёта перекрёстных связей между сепаратными каналами / С. В. Стельмашук, В. А. Челухин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 7(47). – С. 48-58. – EDN JSOPIT.
2. Лямин, М. А. Робототехнический транспортный комплекс для магистральных трубопроводов / М. А. Лямин, С. П. Черный // 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. 235-238. – EDN UNDHOT.
3. Лямин, М. А. Система совместного управления электроприводами мотор-колесо робототехнического транспортного комплекса для магистральных трубопроводов / М. А. Лямин, С. П. Черный // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 7(71). – С. 66-73. – DOI 10.17084/20764359-2023-71-66. – EDN GESPNF.
4. Черный, С. П. Анализ влияния параметров объекта управления на основные характеристики нечеткого регулятора / С. П. Черный, А. В. Бузикаева, Е. О. Полей, М. У. Чжо // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2018. – Т. 1, № 1(33). – С. 28-33. – EDN YVMLZT.
5. Рубашкин, И. Б. Адаптивные системы взаимосвязанного управления электроприводами / И. Б. Рубашкин. – Ленинград : Энергия. Ленингр. отд-ние, 1975. – 160 с.

УДК 621.316.722.076.12

Ляпин Владимир Владимирович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lyapin Vladimir Vladimirovich, 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; Komsomolsk-na-Amure 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

Кизиль Елена Витальевна, доктор экономических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kizil Elena Vitalievna, Doctor of Economics, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗВЕТВЛЕННОЙ СЕТИ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ГОРОДСКОГО ОКРУГА**

### **THE POSSIBILITY OF FORMING AN EXTENSIVE NETWORK OF CHARGING STATIONS IN THE CITY DISTRICT**

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность включения зарядных станций для электромобилей в городскую сеть на примере подключения к городской трансформаторной подстанции двух зарядных устройств. Приводятся осциллограммы исследований влияния зарядных станций на сеть. В ходе исследования выявлено, что при подключении зарядной станции для электромобилей к трансформаторной подстанции в сети возникают броски тока, появляются искажения формы тока и напряжения.

Abstract. In this paper, the possibility of including charging stations for electric vehicles in the urban network is considered using the example of connecting two chargers to a city transformer substation. The oscillograms of studies of the influence of charging stations on a network are presented. During the study, it was revealed that when connecting a charging station for electric vehicles to a transformer substation, current surges occur in the network, current and voltage shape distortions appear.

Ключевые слова: исследование, модель, зарядная станция, электромобиль, электросеть.  
Keywords: research, model, charging station, electric car, circuit.

#### **Введение**

Современный тренд, ориентированный на снижение экологического загрязнения, привел к тому, что в последние годы доля выпуска электромобилей составляет 16% [1], по состоянию на январь 2024 года, и имеет тенденцию к росту. Опираясь на это, появляется задача обеспечить их надежную и устойчивую эксплуатацию, как на городских трассах, так и на междугородних.

Эта задача непосредственно связана с размещением зарядных станций и выбором их типа. На сегодняшний день используются зарядные устройства (ЗУ), которые можно разделить на медленные ЗУ и быстрые ЗУ [4]. К Медленным ЗУ относятся устройства с режимом mode 1 и mode 2, выдают до 32 А и 480 В переменного напряжения [2], в то время как быстрые ЗУ выдают до 200 А и 600 В постоянного напряжения [3]. ЗУ медленного заряда целесообразно размещать по месту жительства или стоянки автомобиля, а ЗУ быстрого заряда приближать к зоне АЗС.

В качестве ограничения использования зарядных станций выступает присоединяемая мощность, вторым ограничивающим фактором будет выступать влияние дополнительной нагрузки на согласующий трансформатор АЗС, поскольку ток заряда аккумулятора носит реактивно емкостной характер.

## Основная часть

Для оценки возможности размещения ЗУ на АЗС ниже выполнен анализ подключения с использованием реальных данных. В основном АЗС подключаются к городским трансформаторным подстанциям мощностью до 630 кВА. Анализ осуществлялся на модели, приведенной на рисунке 1. К источнику питания 6кВ подключен понижающий трансформатор 6/0.4. К вторичной обмотке трансформатора подключена нагрузка типовая нагрузка АЗС, и в начале две зарядные станции, состоящие из выпрямителя и аккумулятора электромобиля мощностью 24кВт/ч и номинальным напряжением 360В [5].

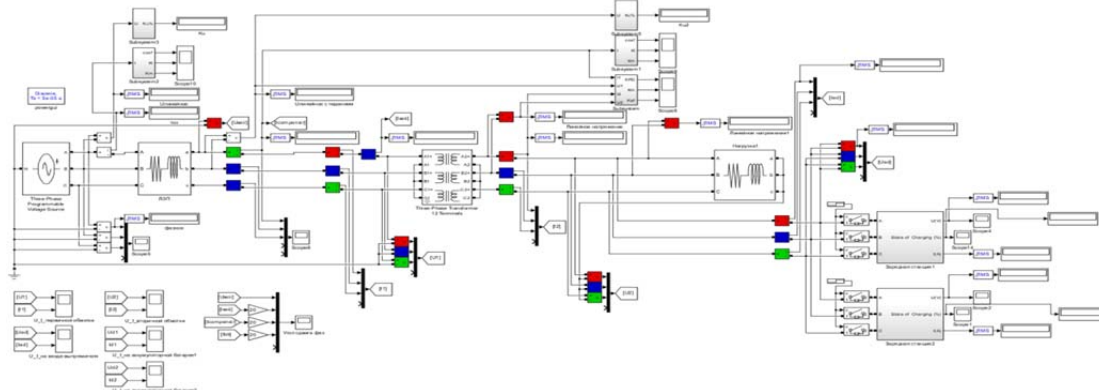


Рисунок 1 – Модель для исследования влияния зарядных станций

Осциллограммы исследований приведены на рисунке 2-5. Зарядная станция 1 подключается в сеть в момент времени  $t = 0.05$  с, зарядная станция 2 подключается в сеть в момент времени  $t = 0.1$  с.

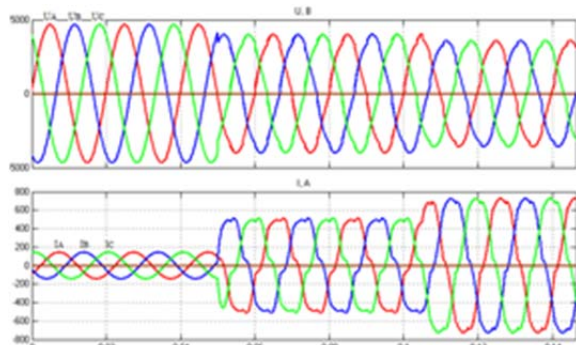


Рисунок 2 – Напряжение и ток в сети 6кВ в момент подключения зарядной станции

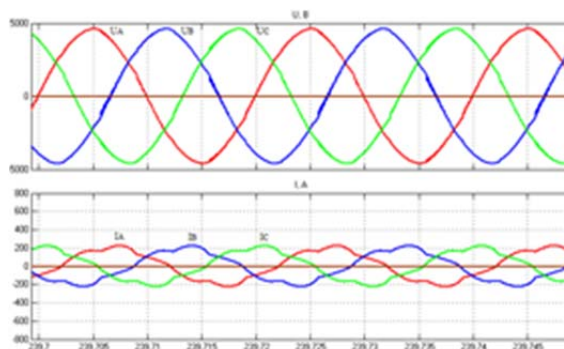


Рисунок 3 – Напряжение и ток в сети 6кВ

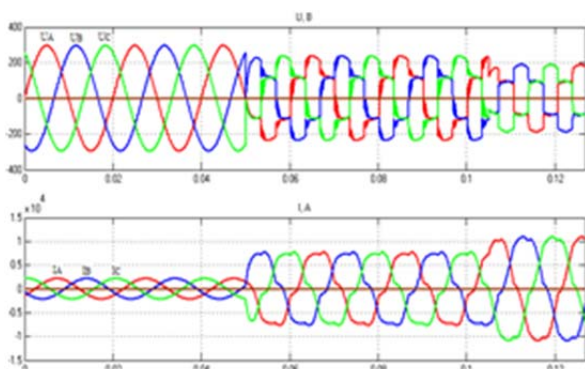


Рисунок 4 – Напряжение и ток в сети 0.4кВ в момент подключения зарядной станции

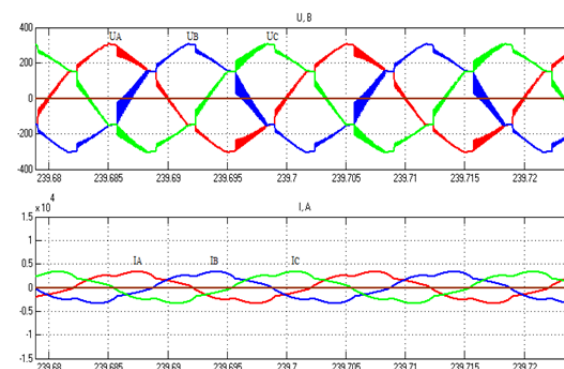


Рисунок 5 – Напряжение и ток в сети 0.4кВ

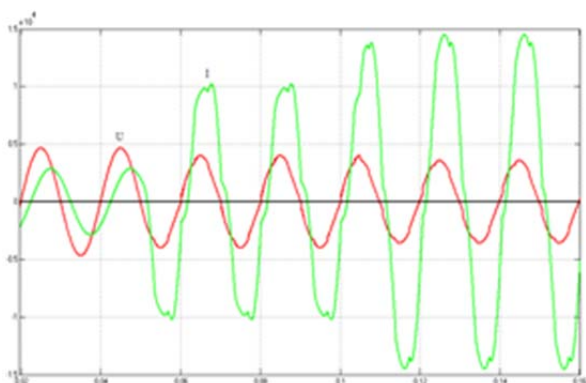


Рисунок 6 – Угол сдвига фаз в сети в момент подключения зарядных станций

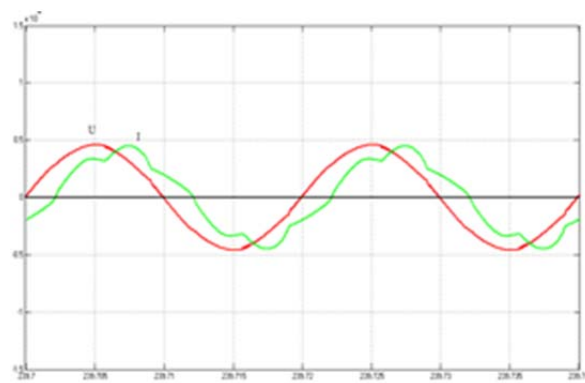


Рисунок 7 – Угол сдвига фаз в сети

Как видно из приведенных осциллограмм при подключении зарядных станций ток в сети возрастает и возникает падение напряжения. С течением времени ток падает, это связано с тем, что происходит зарядка аккумуляторной батареи подключенной к зарядной станции. Коэффициент искажения тока в сети составляет 0.992, а коэффициент искажения напряжения составил 1.756%.

На рисунке 6-7 приведены осциллограммы тока и напряжения, на которых видно как меняется угол сдвига фаз.

Как видно из приведенных осциллограмм при подключении реактивно емкостной нагрузки зарядной станции угол сдвига фаз уменьшился, но с течением времени при зарядке аккумулятора угол сдвига фаз снова увеличился.

### Заключение

Анализ выполненных исследований показывает, что непосредственное размещение ЗУ на имеющихся городских заправках не всегда возможно из-за ограниченной мощности согласующего трансформатора и в большей степени из-за внесения ЗУ искажений в электрическую сеть, что окажет негативное воздействие на других электропотребителей. Поэтому вопрос о месте и способе подключения ЗУ в пределах городских электросетей должен решаться только после проведения дополнительного обследования. Решение данного вопроса может потребовать разработки новых технических решений по согласованию специфической нагрузки, формируемой ЗУ с имеющимися электросетями.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новости электромобильной компании За февраль 2024 года [Электронный ресурс] URL [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.d40818b2-6604db71-7c0fdd59-74722d776562/https/seekingalpha.com/article/4676315-ev-company-news-for-the-month-of-february-2024](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.d40818b2-6604db71-7c0fdd59-74722d776562/https/seekingalpha.com/article/4676315-ev-company-news-for-the-month-of-february-2024) (Дата посещения 21.03.2024)
2. Основы по зарядным станциям: режимы, случаи и типы [Электронный ресурс] URL <https://sys.by/news/articles/osnovy-po-zaryadnym-stantsiyam-rezhimy-sluchai-i-tipu.html> (Дата посещения 20.02.2024)
3. Все виды зарядок для электромобилей [Электронный ресурс] URL <https://www.drom.ru/info/misc/79745.html?ysclid=lomikgyhto532409496> (Дата посещения 21.03.2024)
4. Медленные и быстрые зарядные станции – плюсы и минусы [Электронный ресурс] URL [https://geocharge.ru/news\\_events/tpost/ckx5n50eh1-medlennie-i-bistrie-zaryadnie-stantsii-p](https://geocharge.ru/news_events/tpost/ckx5n50eh1-medlennie-i-bistrie-zaryadnie-stantsii-p) (Дата посещения 25.02.2024)
5. Батарея Ниссан Лиф: характеристики, ресурс [Электронный ресурс] URL <https://avtobond.ru/elektromobili/elektromobili-nissan/batareya-nissan-lif-harakteristiki-resurs/> (Дата посещения 27.02.2024)

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

## **ВЫЧИСЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ЗВЕНЬЕВ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДВИЖЕНИЯ**

### **CALCULATION OF MOMENTS OF INERTIA OF AN INDUSTRIAL ROBOT IN MOTION**

Аннотация. В работе разработан алгоритм вычисления моментов инерции звеньев промышленного робота в процессе его движения. Для будущей реализации алгоритма выведено математическое выражение для вычисления моментов инерции относительно произвольной оси. На основе найденного выражения написан класс звена в среде Matlab.

Abstract. In this paper an algorithm for calculation of moments of inertia experienced by links of an industrial robot has been developed. For the sake of future realization of said algorithm, mathematical expression for calculation of moment of inertia relative to an arbitrary axis has been derived. Based on this expression, a Matlab class representing a robot link has been developed.

Ключевые слова: промышленный робот, момент инерции, алгоритм, адаптивные системы управления, Matlab.

Key words: industrial robot, moment of inertia, algorithm, adaptive control systems, Matlab.

#### **Введение**

Манипуляционный механизм промышленного робота (ПР) представляет собой набор последовательно соединённых звеньев, которые в совокупности с их системами управления (СУ) формируют мехатронные модули.

В ходе движения промышленного робота происходит постоянное изменение взаимного расположения звеньев, что приводит к изменению моментов инерции относительно осей вращения звеньев. Это изменение приводит к несоответствию установленных параметров СУ и изменяющихся параметров управляемого объекта, что приводит к отклонению формы переходного процесса от желаемой [1; 2].

Для сохранения эффективности функционирования системы необходим регулятор, подстраивающийся под изменение моментов инерции. Одной из возможных реализаций такого управления является совмещение модального регулятора с переменными коэффициентами, блока вычисления его коэффициентов [3] и блока вычисления моментов инерции.

Целью данной работы является создание алгоритма вычисления моментов инерции мехатронных модулей ПР, а также необходимые для этого предпосылки. К ним относятся формула для вычисления момента инерции звена относительно произвольной оси, а также описание звена.

#### **Основная часть**

Введём локальную систему координат для звена. Начало координат – центр масс, оси лежат вдоль главных центральных осей тела. Таким образом тензор инерции  $\hat{I}$  принимает диагональную форму. В данной системе координат находится точка  $\vec{J}_0$ , через которую проходит ось вращения  $R$ , направление которой задано единичным вектором  $\vec{r}$  (рисунок 1).

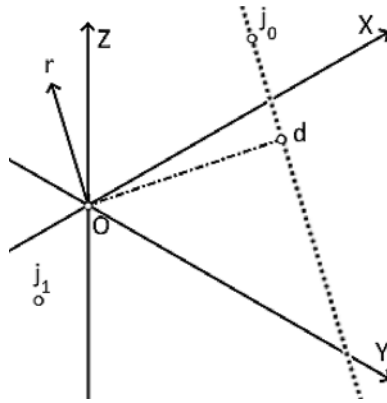


Рисунок 1 – Пример расположения ключевых точек звена

Момент инерции относительно произвольной центральной оси [4]

$$I_c = \vec{r}^T \cdot \hat{I} \cdot \vec{r}. \quad (1)$$

Согласно теореме Гюйгенса-Штейнера [5]:

$$I_r = I_c + m \cdot d^2. \quad (2)$$

Смещение – вектор  $\vec{d}$ .  $\vec{d} \perp \vec{r}$ , следовательно  $\vec{d} \cdot \vec{r} = 0$ . Точки  $\vec{d}$  и  $\vec{j}_0$  лежат на прямой параллельной  $\vec{r}$ . Следовательно, векторная сумма  $\vec{d}$  и масштабированного  $\vec{r}$  будет равна  $\vec{j}_0$ . Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \vec{d} = \vec{r}t + \vec{j}_0; \\ \vec{d} \cdot \vec{r} = 0. \end{cases}$$

Отсюда

$$\vec{d} = \vec{j}_0 - \vec{r} \cdot (\vec{j}_0 \cdot \vec{r}). \quad (3)$$

Получим общую формулу, объединив формулы (1), (2) и (3):

$$I_r = \vec{r}^T \cdot \hat{I} \cdot \vec{r} + m \cdot |\vec{j}_0 - \vec{r} \cdot (\vec{j}_0 \cdot \vec{r})|^2. \quad (4)$$

Для реализации алгоритма вычисления моментов инерции был разработан класс в среде Matlab (рисунок 2). Помимо данных, используемых в выражении (4), класс так же включает: точку  $\vec{j}_1$  – место крепления следующего звена, J – координаты вектора, образованного  $\vec{j}_0$  и  $\vec{j}_1$ , собственный момент инерции звена  $I_{rs}$ .

Выражение (4) реализовано в виде метода  $IR(\vec{r}, \vec{j}_0)$ . Данный метод принимает в себя единичный вектор направления оси и точку на ней. Метод-конструктор принимает в себя переменные в порядке их объявления. В качестве значений тензора инерции принимается вектор, содержащий главные моменты инерции звена. Класс представлен на рисунке 2.

```

1 classdef K_Link
2     properties
3         j0 = [0; 0; 0]; %Point on the rotation axis
4         j1 = [0; 0; 0]; %Attachment point for the next link
5         r = [1; 0; 0]; %Direction vector for rotation axis
6         I = eye(3,3); %Moment of inertia tensor
7         mass = 0; %Mass of the link
8         J = [0; 0; 0]; %Vector connecting j0 and j1. Represents the link
9         Irs = 0; %Holds MoI of this link relative to its own rotation axis
10    end
11    methods
12        function this = K_Link(varargin)
13            if nargin == 5
14                this.j0 = varargin(1);
15                this.j1 = varargin(2);
16                this.r = varargin(3)/norm(varargin(3));
17                this.I = diag(varargin(4));
18                this.mass = varargin(5);
19
20                this.J = this.j1 - this.j0;
21                this.Irs = this.IR(this.r, this.j0);
22            elseif nargin ~= 0
23                error('Number of arguments is incorrect');
24            end
25        end
26        function Ir = IR(this, r, j0)
27            r = r/norm(r);
28            d = j0 - dot(r, j0)*r;
29            Ic = r'*this.I*r;
30            Ir = Ic + this.mass*norm(d)^2;
31        end
32    end
33 end

```

Рисунок 2 – Класс звена в среде Matlab

На рисунке 3 представлен алгоритм вычисления моментов инерции.

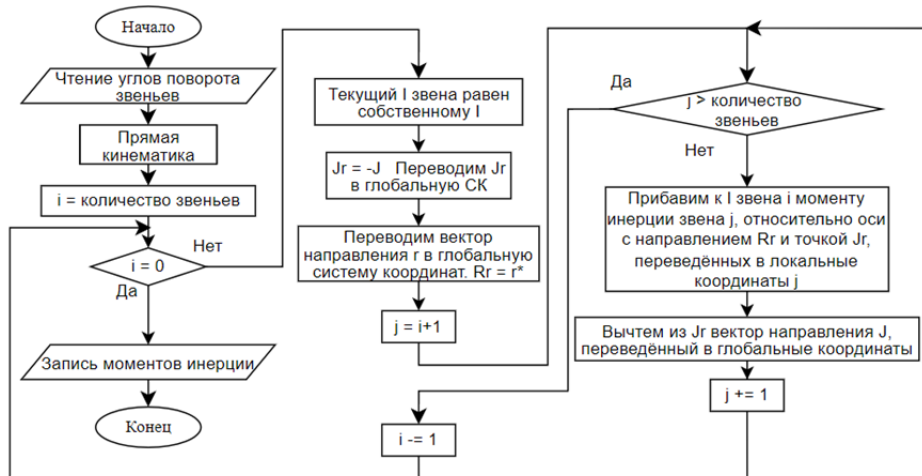


Рисунок 3 – Алгоритм вычисления моментов инерции звеньев в работе

Момент инерции каждого звена равен сумме его собственного момента инерции и моментов инерции всех звеньев после него, относительно его оси вращения.

Таким образом, рациональным будет обход звеньев от последнего к первому, т. к. момент инерции последнего звена зависит только от его собственного момента инерции.

При расчёте каждого отдельного звена целесообразно обходить последующие звенья по порядку от рассматриваемого до последнего. По ходу обхода необходимо накапливать вектор перемещения  $J_r$  от оси вращения. При переводе в глобальные координаты не учитывается сдвиг начала координат, а при переводе в локальные – учитывается.

### Заключение

Сформированный алгоритм универсален, способен рассчитать моменты инерции мехатронных модулей с любым количеством последовательно соединённых звеньев в манипуляционном механизме. Это обеспечивает простоту самонастройки системы управления. В случае применения в условиях с ограниченным количеством вычислительной мощности и/или в режиме реального времени, целесообразным может быть развёртка алгоритма в упрощённые формулы, специфичные для конкретной конфигурации.

В результате данной работы успешно были разработаны алгоритм и класс звена, а также была выведена формула для расчёта моментов инерции звеньев робота в движении.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ощепков, А. Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в Matlab / А. Ю. Ощепков. – Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2021. – 180 с.: Издательство «Лань», 2021. – 180 с.
2. Astrom, K. J. Adaptive control / K. J. Astrom, B. Wittenmark. – 2nd ed. – Mineola; New York: Dover Publication, Inc., 2008. – 573 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.
4. Алешкевич, В. А. Механика твёрдого тела. Лекции [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. А. Алешкевич, Л. Г. Деденко, В. А. Караваев: Издательство Физического факультета МГУ, 1997 г. // Научная сеть nature.web.ru, Интернет архив web.archive.org URL: <https://web.archive.org/web/20140107154354/http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1186208&s=12000000>
5. Трофимова, Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – 11-е изд., стер. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006. – 560 с.



УДК 621.313.333:519.876.5

Мурзин Егор Константинович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Murzin Egor Konstantinovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Стельмашук 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

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В СРЕДЕ SIMINTECH**

### **SIMULATION MODEL OF ASYNCHRONOUS FREQUENCY ELECTRIC DRIVE WITH VECTOR CONTROL IN THE SIMINTECH ENVIRONMENT**

Аннотация. В данной статье представлена имитационная модель частотного электропривода с векторным управлением с ориентацией по потокосцеплению ротора, построенная в среде SimInTech. Описаны её основные элементы и показаны результаты моделирования. Приведена обоснованность использования среды моделирования SimInTech. Abstract. This article presents a simulation model of a vector-controlled frequency electric drive with a flow-coupling orientation of the rotor, built in the SimInTech environment. Its main elements are described and the simulation results are shown. The validity of using the SimInTech modeling environment is given.

Ключевые слова: моделирование, блок-схема, переходный процесс, электропривод, система автоматического регулирования

Key words: simulation, block diagram, transient, electric drive, control system

#### **Введение**

Векторное управление позволяет работать в различных режимах, таких как постоянный момент, постоянная мощность и другие режимы, что делает его более гибким. Это делает векторное управление двигателем важным элементом в современных электроприводах, особенно в областях, где требуется высокая эффективность, точность и динамичность работы. Разработка систем автоматического регулирования на базе частотных электроприводов представляет собой трудоемкий процесс. На начальной стадии проектирования электропривода с целью повышения эффективности разработки исследования проводятся методом имитационного моделирования, которое позволяет исследовать переходные процессы без необходимости создания лабораторных установок [1].

В рамках статьи представлены возможности исследования частотного электропривода с векторным управлением с помощью среды моделирования SimInTech, которая содержит библиотеку блоков для построения электротехнических систем и возможность отображать результаты моделирования в виде графиков переходных процессов [2].

#### **Основная часть**

В рамках статьи рассматривалась система векторного управления скоростью с ориентацией по потокосцеплению ротора [3]. Контуры тока и потока настроены на модульный оптимум, а контур скорости – на симметричный оптимум. Имитационная модель представляет собой две подсистемы: модель силовой части и модель векторного управления. Блок-схема модели силовой части электропривода представлена на рисунке 1.

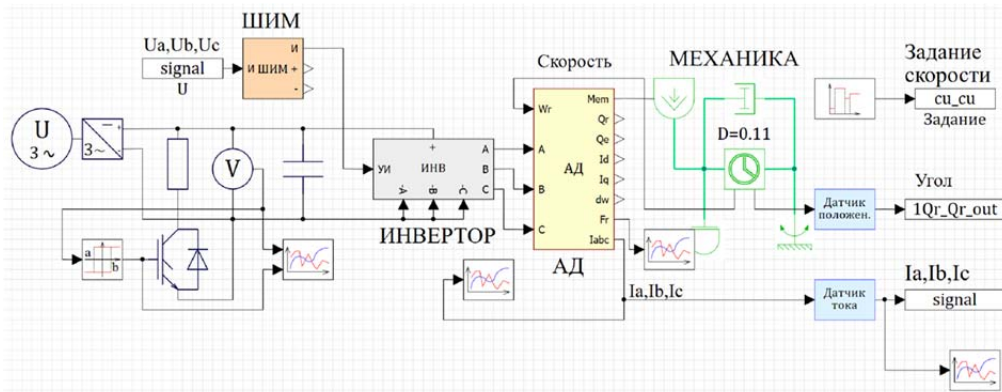


Рисунок 1 – Имитационная модель силовой части асинхронного частотного электропривода с векторным управлением

Модель имитирует поведение механической части привода. Отдельными блоками моделируются асинхронный двигатель, инвертор с широтно-импульсной модуляцией, источник трехфазного напряжения и динамическое торможение. На рисунке 2 представлена блок-схема модели векторного управления.

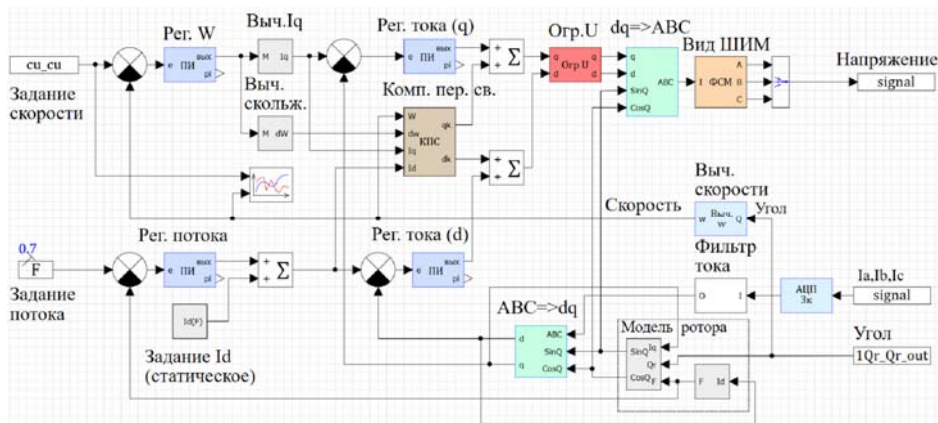


Рисунок 2 – Имитационная модель системы векторного управления асинхронного частотного электропривода

Здесь представлены блоки ПИ-регуляторов токов, потока и скорости, блоки модели ротора, преобразователя координат, ограничения и другие вспомогательные блоки. На рисунках 3 и 4 представлены результаты моделирования в виде графиков переходных процессов скорости и момента как реакции электропривода на изменяющийся сигнал задания скорости при пуске, реверсе и торможении.

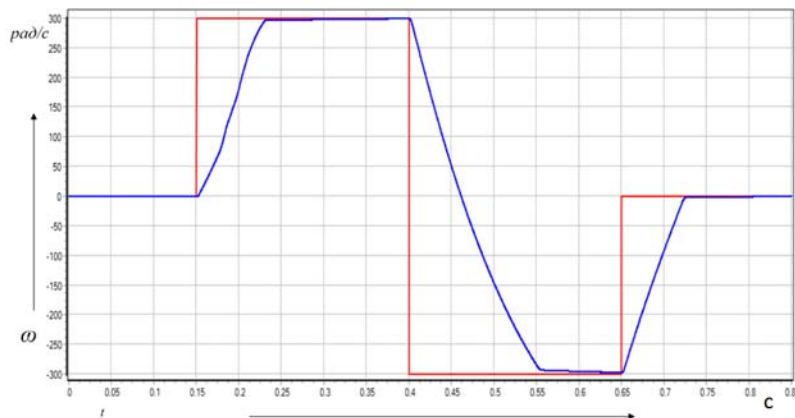


Рисунок 3 – График переходного процесса скорости

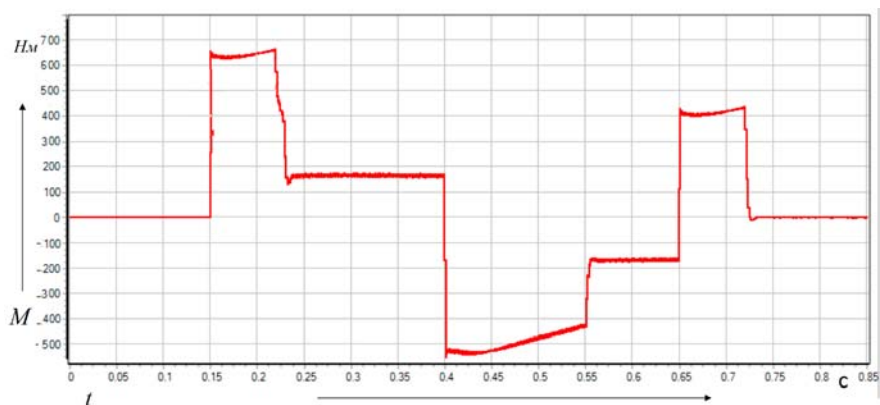


Рисунок 4 – График переходного процесса момента

### Заключение

Результаты моделирования показали, что использование среды SimInTech является удобным средством для анализа расчетов параметров системы автоматического регулирования, обеспечивающим наглядность при составлении блок-схем, при вычислении переходных процессов. Использование среды облегчено тем, что среда полностью русифицирована и имеет инструменты создания интерфейсов управления и возможность моделирования в режиме реального времени [4]. Также модели, созданные в среде SimInTech можно использовать в качестве виртуальных стендов [5], что расширяет возможности при дистанционном обучении.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Еремочкин, С. Ю. Разработка имитационной модели однофазного асинхронного электропривода в среде динамического моделирования SimInTech / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов, А. А. Жуков // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 1(152). – С. 59-71. – DOI 10.24412/2227-9407-2024-1-59-71. – EDN FUZVQL.

2. Колесник, М. Б. Моделирование работы электромеханической системы управления приводом герметичной задвижки в среде SIMINTECH / М. Б. Колесник // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 1(65). – С. 54-59. – DOI 10.17084/20764359-2023-65-54. – EDN SCLJHD.

3. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности 140604 "Электропривод и автоматика пром. установок и технол. комплексов" направления подгот. дипломир. специалистов 140600 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / В. М. Терехов ; В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. – Москва : Academia, 2005. – (Высшее профессиональное образование. Электротехника). – ISBN 5-7695-1814-6. – EDN QMIUXP.

4. Афанасьев, А. М. Схемотехническое моделирование электрических машин в среде SIMINTECH / А. М. Афанасьев, А. А. Кошутин // Актуальные вопросы инновационного развития Арктического региона РФ : Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, Северодвинск, 14–30 ноября 2022 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». – Северодвинск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2023. – С. 275-278. – EDN OPNLYA.

5. Суханова, А. Н. Разработка и исследование имитационной модели однофазного управляемого выпрямителя в программах Matlab и SIMINTECH / А. Н. Суханова, Д. А. Киба // 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. Сухорук (отв. ред.) [и др.]. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 280-283. – EDN GCIYCM.

УДК 62-52

Недоедко Александр Олегович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Nedodko Alexander Olegovich, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Сухоруков Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sukhorukov Sergey Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СБОРКИ ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

### **DEVELOPMENT OF A GENERALIZED STRUCTURE OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR ASSEMBLING ELEMENTS OF AVIATION EQUIPMENT**

Аннотация. Статья посвящена вопросам автоматизации сборки элементов внешних деталей летательных аппаратов. В качестве собираемых изделий представлены элементы внешней обшивки (двери, люки). Для автоматизации системы предлагается использование роботизированного комплекса. В рамках статьи проанализирован процесс сборки, сформулированы функциональные требования к системе, осуществляющей сборку, и по составленным требованиям сформирована структура системы.

Abstract. The article is devoted to the automation of assembly of elements of external parts of aircraft. The elements of the exterior cladding (doors, hatches) are presented as assembled products. To automate the system, it is proposed to use a robotic complex. Within the framework of the article, the assembly process is analyzed, functional requirements for the system performing the assembly are formulated, and the structure of the system is formed according to the compiled requirements.

Ключевые слова: летательный аппарат, клёпка, автоматизация, самолёты, двери, люки, роботы.

Key words: aircraft, riveting, automation, airplanes, doors, hatches, robots.

#### **Введение**

Сборка элементов внешней обшивки летательных аппаратов (ЛА) происходит с применением большого количества ручного труда. Более 40% работы выполняется вручную без использования автоматизированных систем. Вручную происходит разметка деталей, сверление отверстий под клёпку, зенковка, нанесение герметика и непосредственно сама клёпка. Производство самолётов таким образом увеличивает время необходимое для производства ЛА, а так как человек склонен к усталости, то со временем теряется и точность работы, что приводит к браку на производстве и необходимости исправления неточностей. Таким образом при использовании ручного труда теряется до 40% возможных производственных мощностей, что может быть исправлено путём внедрения автоматизированных систем, выполняющих вышеперечисленные операции [1]. Поэтому необходимо автоматизировать производственные процессы, сводя к минимуму необходимость ручного труда. Далее в статье описывается обобщённая структура автоматизации, который направлен на увеличение мощности производства и повышение точности при создании отдельных элементов ЛА.

#### **Основная часть**

Автоматизировать процесс сборки элементов ЛА, а непосредственно дверей и люков, предлагается путём внедрения промышленных роботов. Роботы будут оснащаться специальной оснасткой, в которую устанавливается дверное полотно самолёта. Поворачивая оснастку, робот будет подставлять полотно под необходимые инструменты в определённой последовательности выполняя операции сверления, зенковки и клёпки [2].

Правильное выполнение работы системы будет обеспечиваться путём считывания информации с датчиков, расположенных на оснастке, определяющих её положение в пространстве. Вокруг рамы будут установлено оборудование необходимое для сборки дверей.

В оборудование, которое не крепится к самому роботу входит: сверлильно-зенковочный инструмент, инструмент с автоподачей заклёпок, клепальный пресс и система контроля качества [3]. Структурная схема работы системы приведена на рисунке 1.

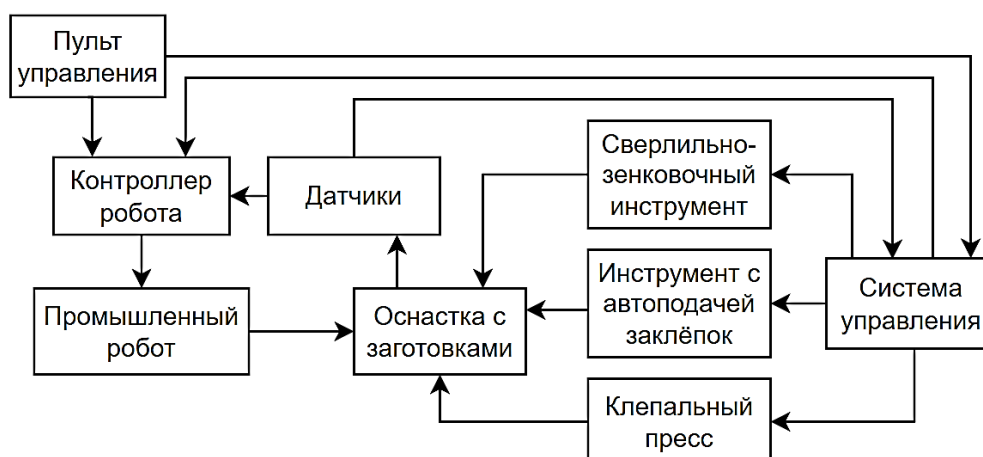


Рисунок 1 – Структурная схема работы системы

Работа системы будет происходить следующим образом [4]:

1. В оснастку устанавливается полотно заготовки, а сама оснастка крепится на робота.
2. Оператор подаёт команду с пульта управления о старте процесса сборки.
3. Промышленный робот перемещает заготовку относительно нужного инструмента в заданной последовательности, осуществляя ее позиционирование (установка координат и углов поворота детали относительно инструмента).

- 3.1. Сначала робот перемещает оснастку, подставляя её под сверлильно-зенковочный инструмент, после чего система управления подает команду на выполнение сверления отверстий в заготовке и придание отверстиям конусовидной формы.

- 3.2. Затем оснастка перемещается в зону действия устройства, устанавливающего заклёпки в отверстия. Данному устройству также поступают управляющие сигналы от системы управления на установку конкретного типа клепки в конкретное отверстие.

- 3.3. Далее робот перемещает оснастку отверстиями с заклёпками под клепальный пресс, который по командам от системы управления зажимает заготовку с двух сторон, с одной стороны находится сам пресс, вдавливающий заклёпку, а с другой подкладка для прижатия заклёпок и происходит процесс клёпки.

4. По завершении всех операций специальным оборудованием проводится контроль качества заготовки.

Для отслеживания параметров работы комплекса и состояния заготовки и коррекции параметров работы системы в оперативном режиме в структуре системы предусмотрены специализированные датчики.

Пульт управления в системы предназначен для взаимодействия с оператором (запуск процесса сборки, отслеживание состояния процесса, перемещение робота в ручном режиме и т.д.). Также, интерфейс оператора позволяет осуществлять экстренную остановку работы системы в случае неполадок.

### Заключение

Таким образом автоматизируя процесс сборки ЛА, мы можем свести к минимуму необходимость участия человека в сборке элементов внешней обшивки. Исключение человека из участия процесса сборки повысит точность производства и уменьшит время необходимое на сборку одной детали, что увеличит производственные мощности, позволив быстрее и точнее собирать летательные аппараты [5].

Материал, описанный в статье, будет использован в дальнейшей работе над разработкой автоматизированной системы по сборке элементов внешней обшивки самолётов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Недоедко, А.О. Анализ перспектив автоматизации процессов сборки дверей летательных аппаратов / А.О. Недоедко, С.И. Сухоруков. // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 16-17 ноября 2023 г. – 2023 – С. 243-245.
2. Гусева, Р.И. Особенности технологической сборки планера самолёта : учебное пособие / Р.И. Гусева. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 133 с.
3. Белоглазое, И.М. Сборка клепаных конструкций летательных аппаратов : учебное пособие / И.М. Белоглазое, В.В. Щербатых, Ю.Д. Лысенко – Самар. гос. аэрокосм. ун-т. – Самара, 2004, – 64 с.
4. Последовательность изготовления самолета – [Электронный ресурс]. // URL: [https://studref.com/633655/tehnika/posledovatelnost\\_izgotovle\\_niya\\_samoleta](https://studref.com/633655/tehnika/posledovatelnost_izgotovle_niya_samoleta) (дата обращения 08.04.2024).
5. Хамхоева, Ф.Я. Преимущества использования автоматизации производства в современных условиях в аспекте управления предприятием // Вестник РУК. 2021. №2 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-ispolzovaniya-avtomatizatsii-proizvodstva-v-sovremennyh-usloviyah-v-aspekte-upravleniya-predpriyatiem> (дата обращения: 05.04.2024).

УДК 621.314

Неъматиллоев Шукриллохон Лутфиллоевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Nematilloev Shukrillokhon Lutfilloevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Табаров Бехруз Довудходжаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tabarov Bekhruz Dovudkhodzhaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Electric Drive and Automation of Industrial Installations", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ**

## **INVESTIGATION OF THE ENERGY PARAMETERS OF A TRANSFORMER SUBSTATION AT DIFFERENT VOLTAGE LEVELS OF THE SUPPLY NETWORK**

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы связанные с улучшением качества электроэнергии и энергетических показателей систем электроснабжения с традиционным неуправляемым регулятором напряжения и предлагаемым управляемым регулятором напряжения при нестабильности напряжения питающей сети. Исследование качество электроэнергии и энергетических показателей проводилось в среде MATLAB на блочно-модульной модели трансформаторной подстанции мощностью 1 МВ·А и напряжением 6 / 0,4 кВ. Сравнительные анализы полученных результатов исследований с традиционным неуправляемым и предлагаемым управляемым регулятором напряжения подтверждали, что применение предлагаемого управляемого устройства в состав трансформаторной подстанции позволяет комплексно улучшить технико-экономические показатели систем электроснабжения.

Abstract. The article discusses issues related to improving the quality of electricity and energy performance of power supply systems with a traditional uncontrolled voltage regulator and a proposed controlled voltage regulator in case of voltage instability of the supply network. The study of the quality of electricity and energy indicators was carried out in the MATLAB environment on a block-modular model of a transformer substation with a capacity of 1 MV·A with a voltage of 6 / 0.4 kV. Comparative analyses of the obtained research results with the traditional unmanaged and proposed controlled voltage regulator confirmed that the use of the proposed controlled device as part of a transformer substation makes it possible to comprehensively improve the technical and economic performance of power supply systems.

Ключевые слова: электрическая сеть, трансформаторная подстанция, традиционный регулятор напряжения, реакторно-тиристорное пускорегулирующее устройство, компенсация реактивной мощности, энергетические показатели.

Key words: electrical network, transformer substation, reactor-thyristor start-up device, reactive power compensation, energy indicators.

### **Введение**

В настоящее время улучшения энергетических показателей с одновременным сохранением качества электроэнергии у потребителей на заданном уровне является одним из актуальных вопросов в системах электроснабжения и согласуется с Энергетической Стратегией России на период до 2035 года и рядом отраслевых программ [1]. Как известно из научных трудов отечественных и зарубежных ученых, а также опыта эксплуатации существующих трансформаторных подстанций (ТП) на сегодняшний день систем электроснабжения нуждаются в модернизации нового устройства по улучшению энергетических показателей с одновременным сохранением качества электроэнергии в системах электроснабжения. Например, в электрических сетях напряжением (6, 10) / 0,4 кВ это прежде всего связано с тем, что отсутствует наличие автоматизированного устройства по сохранению качества электроэнергии, а также устройство по обеспечению непрерывности и точности регулирования реактивной мощности с одновременным поддержанием качества питающего напряжения в трансформаторных подстанциях. Для возможности решения недостатков существующих трансформаторных подстанций в данной статье предлагается нового гибридного устройства, позволяющего комплексно улучшить технико-экономические показатели систем электроснабжения [2]. Ниже приводятся результаты исследования энергетических показателей с одновременным сохранением качества электроэнергии при разных уровнях напряжения питающей сети.

### **Основная часть**

Исследование проводилось на блочно-модульной модели трансформаторной подстанции с неуправляемым и управляемым регулятором напряжения [3]. На рисунке 1 приводятся осциллограммы мгновенное значение фазного напряжения питающей сети 1 и мгновенные значения фазного тока сети 2, батарея конденсатора 3 и активно-индуктивной нагрузки 4. Важно отметить, что на эти осциллограммы для более широкой интерпретации приведены фрагменты из результатов исследования влияния нестабильности напряжения питающей сети на качества электроэнергии и энергетические показатели трансформаторной подстанции [4]. Здесь приведенные осциллограммы с левой стороны получены с традиционным неуправляемым регулятором напряжения, а с правой стороны с предлагаемым управляемым регулятором напряжения при колебаниях напряжения в питающей сети.

Анализ полученных результатов исследования, приведенных на рисунке 1, показал, что предлагаемое устройство обладает возможностью улучшить энергетические показатели с одновременным повышением качества электроэнергии в системах электроснабжения.

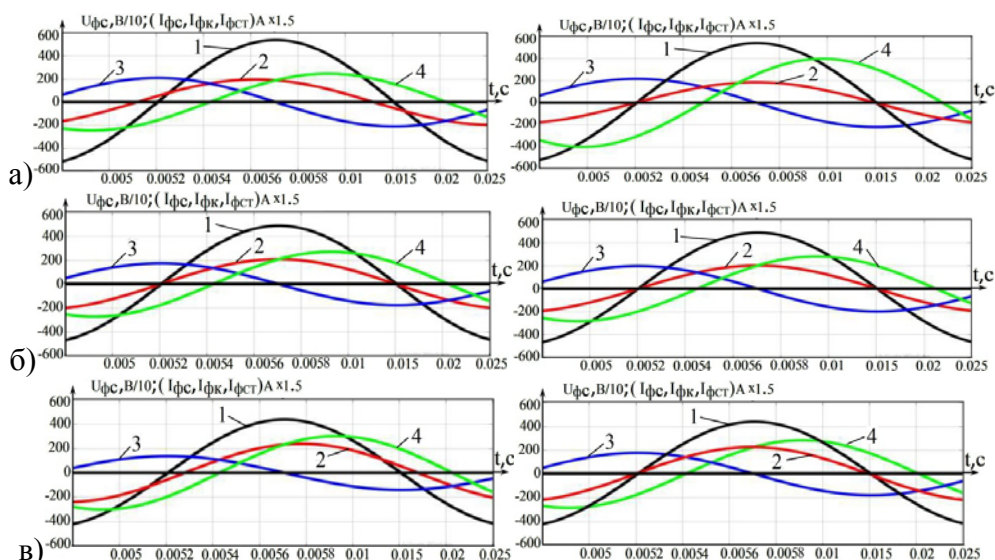


Рисунок 1 – Осциллограммы токов и напряжение при повышенном (а), номинальном (б) и пониженном (в) напряжении сети

В таблице 1 приводятся результаты исследования энергетических показателей трансформаторной подстанции с неуправляемым регулятором напряжения при нестабильности напряжения питающей сети.

Таблица 1 – Результаты исследования энергетических показателей трансформаторной подстанции с неуправляемым регулятором напряжения

Наименование коэффициенты	Напряжения в сети, В				
	6600	6300	6000	5400	5700
К <sub>м</sub>	0.7988	0.7988	0.7988	0.7988	0.7988
К <sub>ПД</sub>	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992
К <sub>ЭП</sub>	0.7981	0.7981	0.7981	0.7981	0.7981

Из приведенных результатов исследования в таблице 1 и осциллограммы, представленные на рисунке 1 с традиционным устройством по регулированию напряжения можно сделать вывод, что известное устройство не обладает свойство (возможности) сохранить высокое значение энергетических показателей с одновременным поддержанием качества электроэнергии.

Полученные результаты исследования энергетических показателей трансформаторной подстанции с управляемым регулятором напряжения при нестабильности напряжения питающей сети представлены в таблице 2.

Результаты исследования, представленные в таблице 2 и осциллограммы, приведенные на рисунке 1, с предлагаемым управляемым устройством аргументируют, что благодаря расширения функциональных возможностей и специализированного способа управления предлагаемого регулятора напряжения несмотря на нестабильности напряжения источника питания повышаются энергетические показатели и одновременно с этим улучшается качество электроэнергии в системах электроснабжения.

Таблица 2 – Результаты исследования энергетических показателей трансформаторной подстанции с управляемым регулятором напряжения

Наименование коэффициенты	Напряжения в сети, В				
	6600	6300	6000	5400	5700
К <sub>м</sub>	0.9999	0.9994	1	0.9995	0.999
К <sub>ПД</sub>	0.9978	0.9978	0.9985	0.9975	0.9981
К <sub>ЭП</sub>	0.9977	0.9973	0.9985	0.9979	0.9971



## **Заключение**

Сравнительные анализы результатов исследований энергетических показателей с одновременным сохранением качества электроэнергии по штатной и новой схеме системы электропитания показали, что предложенное управляемое устройство обладает высокими энергетическими показателями, и применение его в состав комплектных трансформаторных подстанциях решает существующих недостатков трансформаторных подстанций с механическими коммутационными аппаратами и традиционными механическими регуляторами напряжения.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Распоряжение Правительства РФ от 09 июня 2020 г. № 1523-р «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/39847/> (Дата обращения: 04.04.2024).

2. Пат. 2667095 Российская Федерация, МПК H02M 5/25 (2006.01); G05F 1/30 (2006.01). Способ управления пускорегулирующим устройством силового трансформатора / Климаш В.С., Табаров Б.Д. – № 2017147194; заявл. 29.12.2017; опубл. 14.09.2018, Бюл. № 26.

3. Программный комплекс имитационной моделей двухтрансформаторной подстанции с одним общим двухподдиапазонным реакторно-тиристорным управляемым регулятором напряжения: свид. № 2023685892 Рос. Федерация / Табаров Б.Д.; заявитель и патентообладатели ФГБОУ ВО «КнАГУ». – № 2023685320; заявл. 22.11.2023; опубл. 31.11.2023. Бюл. № 12.

4. Табаров, Б.Д. Исследование трансформаторной подстанции с двухподдиапазонным реакторно–тиристорным регулирующим устройством / В. С. Климаш, Б. Д. Табаров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2018. – №28. – С. 92 – 107.

УДК: 681.5.01:658.5

Савельева Алена Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Savelyeva Alena Sergeevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Безнаев Тимофей Евгеньевич, учащийся лицея, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Beznaev Timofey Evgenyevich, lyceum 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

Черный Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Cherny Sergey Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS IN METALLURGICAL PRODUCTION**

Аннотация. Ввиду необходимости увеличения объемов выпускаемой продукции, а также снижения ее себестоимости определяется актуальность и необходимость автоматизации различных типовых производственных процессов. В качестве объекта регулирования рассмотрен технологический процесс мелкосерийного литья заготовок различной формы, который характеризуется сложностью и длительностью протекания физических процессов каждой из технологических операций. Часть технологических операций носит экстремально опасные условия труда. В статье приведен сравнительный анализ двух производ-

ственных линий с классической системой без автоматизации и с автоматизированной производственной системой. Результаты моделирования, полученные в представленной работе, позволяют оценить эффективность использования нечетких систем управления при автоматизации технологических линий производственных процессов металлургического предприятия. Показано, что минимизация длительности технологического процесса приводит к сокращению простоев производственных операций.

Abstract. In view of the need to increase the volume of manufactured products, as well as to reduce its cost, the relevance and necessity of automation of various typical production processes is determined. As an object of regulation the technological process of small-scale casting of blanks of various shapes is considered, which is characterized by complexity and duration of physical processes of each of the technological operations. Part of technological operations has extremely hazardous working conditions. The paper presents a comparative analysis of two production lines with a classical system without automation and with an automated production system. The results of modeling, obtained in the presented work, allow to estimate the efficiency of using fuzzy control systems in the automation of technological lines of production processes of metallurgical enterprise. It is shown that minimizing the duration of the technological process leads to a reduction in the downtime of production operations.

Ключевые слова: системы автоматического управления, производственные системы, имитационное моделирование, литейное производство.

Keywords: automatic control systems, production systems, simulation modeling, foundry.

### **Введение**

Современная литейная промышленность стремительно развивается, ставя перед предприятиями все более сложные задачи в области производства. В контексте оптимизации и улучшения производственных процессов, особое внимание уделяется вопросу разработки систем автоматизации, способных существенно повысить эффективность предприятия, улучшить качество продукции, снизить затраты на ресурсы и увеличить объемы выпускаемой продукции. Для решения этого вопроса представлен проект, направленный на создание системы автоматизации в области мелкосерийного литья заготовок различной формы. В программе MATLAB была разработана имитационная модель, в которой операции, использующие человеческий труд заменены автоматизированным комплексом. Многоконтурная система управления с нечетким управлением, реализованная в модели, позволяет управлять заготовками на каждом этапе жизненного цикла изделия, основываясь на временных интервалах и параметрах изделия каждого типа.

### **Основная часть**

Придерживаясь тенденции развития индустрии 4.0, передовые предприятия стараются оптимизировать технологические процессы различными способами [1]. Интеграция различных типов автоматизированных систем позволяет снизить риски, связанные с несчастными случаями и исключить присутствие человека из опасных условий технологического процесса. Для исследования и настройки таких систем [2] применяется класс, именуемый дискретно-событийным моделированием. Дискретно-событийный метод позволяет представить технологический процесс в виде последовательности операций, каждая из которых может быть уникальна и иметь собственные условия и параметры [3]. Типовую имитационную модель технологического процесса литейного производства (далее ТПП) можно представить следующим образом, показанном на рисунке 1. Дискретно-событийная модель технологического процесса мелкосерийного литейного производства отображает производственные этапы, соответствующие базовым процессам металлургических предприятий: плавку, отливку, охлаждение и постобработку. В имитационной дискретно-событийной модели каждый этап представляет собой подсистему со своими параметрами [4]. Каждая из имеющихся подсистем может быть представлена типовым набором элементов операций (рисунок 2).

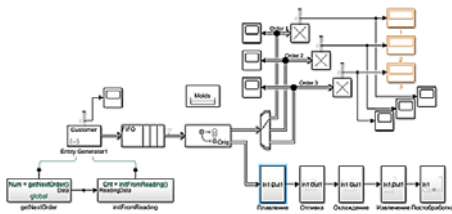


Рисунок 1 – Дискретно-событийная модель типового ТПЛП

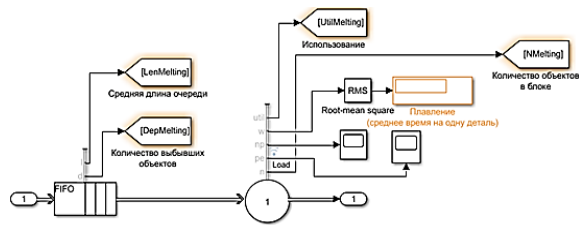


Рисунок 2 – Имитационная модель подсистемы плавления

Для сравнения и сопоставления результатов исследования, разработана и представлена (рисунок 3) дискретно-событийная модель автоматизированного ТПЛП.

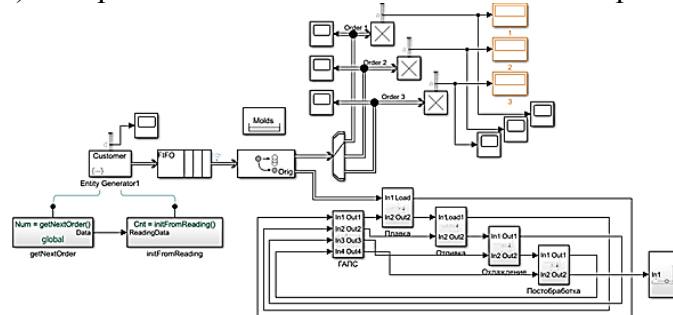


Рисунок 3 – Дискретно-событийная модель автоматизированного ТПЛП

Сравнительные характеристики производительности производства трех различных типов изделий за неделю для ТПЛП с автоматизированным и ручным трудом представлены на рисунках 4-6.

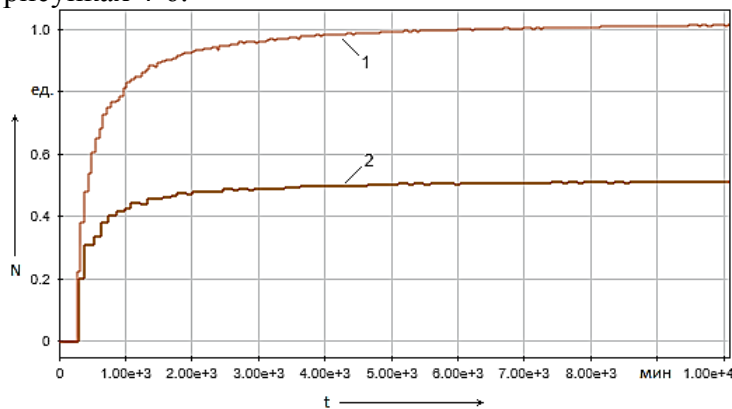


Рисунок 4 – Производительность изделий первого типа  
1 – автоматизированный ТПЛП; 2 – неавтоматизированный ТПЛП

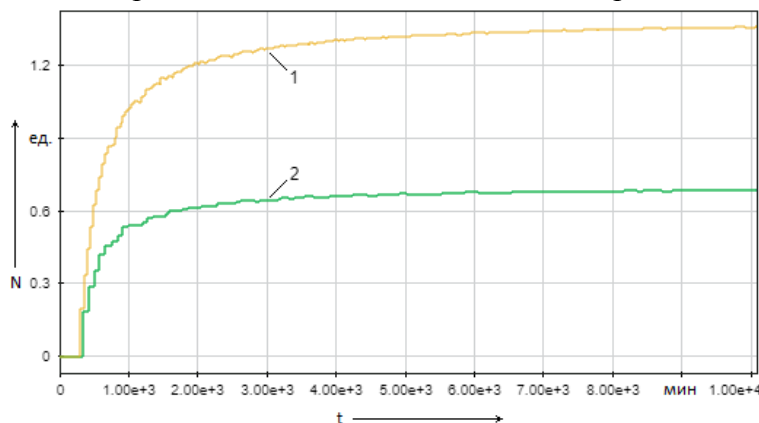


Рисунок 5 – Производительность изделий второго типа  
1 – автоматизированный ТПЛП; 2 – неавтоматизированный ТПЛП

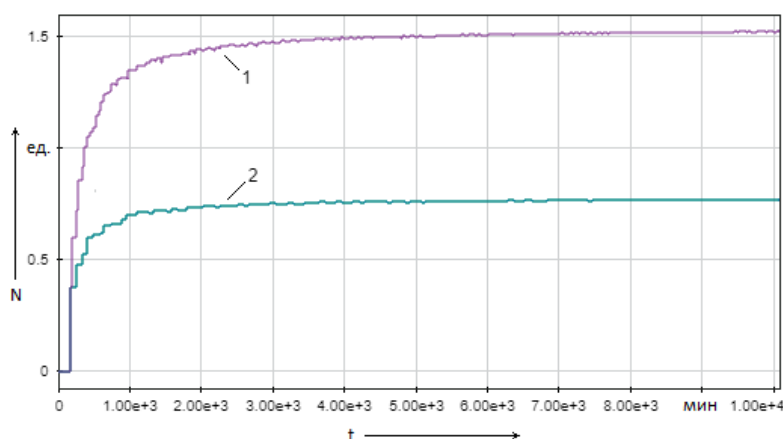


Рисунок 6 – Производительность изделий третьего типа  
1 – автоматизированный ТПЛП; 2 – неавтоматизированный ТПЛП

### Заключение

Исходя из представленных переходных процессов можно сделать вывод, что автоматизация ТПЛП позволяет минимизировать задержки между технологическими операциями [5], регулируя изготовление того или иного типа деталей на каждом этапе жизненного цикла изделий, тем самым повышая количество производимых деталей более чем в два раза каждого типа.

На основе информации ранее сказанной, можно сделать вывод, что при использовании средств автоматизации в ТПЛП, появляется возможность его оптимизации по быстродействию, а дальнейшее применение интеллектуальных технологий [6] в качестве экспертных систем, позволит значительно улучшить распределение задач между технологическими операциями. Таким образом, существенный прирост производительности позволит сократить время изготовления каждого изделия и, как следствие, повысить производительность и прибыль предприятия.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 1 Mikell, P.G. FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING – Materials, Processes, and Systems – JOHN WILEY & SONS, INC., 2010
- 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 Мельникова, С.Е. Возможность применения DES-технологии для минимизации длительности задержек системах управления / Мельникова С.Е., Савельева А.С., Пазий Е.А., Савельев Д.О. В сборнике: Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре, 2023. С. 240-242.
- 6 Савельев, Д.О. «Нечеткий логический регулятор для экспертной системы управления технологическими операциями» / Савельев Д.О., Савельева А.С., Гудим А.С. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024614383, 22.02.2024. Заявка от 15.02.2024.

УДК 681.5

Самар Денис Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Samar Denis Evgenievich, 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 НАБЛЮДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

### **DEVELOPMENT OF AN OBSERVATION DEVICE FOR A VECTOR ASYNCHRONOUS MOTOR CONTROL SYSTEM**

Аннотация. На основании линеаризованной, модели асинхронной машины, осуществлён синтез наблюдающего устройства восстановления скорости и момента двигателя. Выполнены расчёты векторной системы управления, регуляторов тока и скорости, моделирование векторной системы управления асинхронным электродвигателем, с использованием полученного наблюдающего устройства. Приведены кривые переходных процессов по скорости и моменту.

Abstract. Based on the linearized asynchronous machine model, the synthesis of an observing device for restoring the speed and torque of the engine was carried out. Calculations of the vector control system, current and speed regulators, modeling of the vector control system of an asynchronous electric motor using the obtained observing device are performed. The curves of transient processes in terms of speed and torque are given.

Ключевые слова: асинхронная машина, векторное управление, наблюдающее устройство, система стабилизации скорости

Key words: asynchronous machine, vector control, observing device, speed stabilization system

#### **Введение**

Асинхронный управляемый электропривод с векторным управлением является основным типом электропривода, используемым в промышленности. При массовом производстве векторных систем управления асинхронной машиной, наличие датчиков усложняет конструкцию и заметно увеличивает стоимость электропривода. Экономически выгоднее применять бездатчиковую систему векторного управления асинхронным электродвигателем. В этом случае необходимые для управления координаты восстанавливаются при помощи наблюдающего устройства.

В статье описывается способ получения устройства восстановления координат электродвигателя на основе линеаризованной модели асинхронной машины. Наблюдающее устройство, реализованно как астатический наблюдатель полного порядка, и предназначено для восстановления скорости ротора и момента нагрузки асинхронного электродвигателя. Его применение позволит реализовать замыкание контура скорости без применения тахогенератора и реализовать бездатчиковое векторное управление асинхронной машиной.

#### **Основная часть**

При синтезе векторной системы управления асинхронным электродвигателем, может быть использована математическая модель асинхронной машины в координатах  $d$  и  $q$  [1; 2]. Модель, описанная в [1] является нелинейной, и была линеаризована в [3] при условии постоянства потокосцепления ротора машины. На основании векторно-матричного описания линеаризованной модели асинхронного двигателя [3], расширенное математическое описание объекта управления:

$$X' = A \cdot X + B \cdot U_c, \quad (1)$$

где

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_s^*} \left( \frac{K_2}{r} + 1 \right) & -\frac{K_3}{T_s^* r} & 0 \\ \frac{K_1}{J} & 0 & -\frac{1}{J} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} \frac{K_p}{T_s^* r} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} i_{sq} \\ \omega_d \\ M_n \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$i_{sq}$ ,  $\omega_d$ ,  $M_n$  – ток статора, скорость и момент нагрузки асинхронного двигателя;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  – коэффициенты модели объекта, выраженные через параметры модели асинхронного двигателя [3]:

$$K_1 = \frac{3}{2} n K_r \psi_{rd}; K_2 = \frac{L_s^*}{T_r}; K_3 = n K_r \psi_{rd} \left( \frac{L_s^*}{K_r^2 R_r T_r} + 1 \right).$$

Для синтеза наблюдающего устройства воспользуемся уравнением астатического наблюдателя [4]:

$$\hat{X}' = (A - GC)\hat{X} + BU_c + Gy \quad (3)$$

где  $G$  – матрица коэффициентов наблюдателя,  $\hat{X}$  – восстановленный вектор состояния,  $y = [1 \ 0 \ 0]$   $X$  – вектор измеряемых переменных объекта.

В результате синтеза астатического наблюдающего устройства, для объекта (1) с использованием уравнения (3), по методике [4], удаётся получить уравнение, для расчёта коэффициентов наблюдателя  $g_{11}$ ,  $g_{21}$ ,  $g_{31}$ :

$$\det[pI - (A - GC)] = p^3 + \left( \frac{1}{T_s^*} \left( \frac{K_2}{r} + 1 \right) + g_{11} \right) p^2 + \frac{K_3}{T_s^* r} \left( \frac{K_1}{J} - g_{21} \right) p + \frac{g_{31} K_3}{T_s^* r} \quad (4)$$

При настройке на биномиальную форму, характеристический полином наблюдателя [5]:

$$H(p) = p^3 + 3 \cdot \omega_0 \cdot p^2 + 3 \cdot \omega_0^2 \cdot p + \omega_0^3 \quad (5)$$

Приравняв коэффициенты, при одинаковых степенях полиномов (4) и (5), можно получить коэффициенты матрицы  $G$  наблюдающего устройства:

$$g_{11} = 3\omega_0 - \frac{1}{T_s^*} \left( \frac{K_2}{r} + 1 \right); g_{21} = \frac{K_1}{J} - 3\omega_0^2 \frac{T_s^* r}{K_3}; g_{31} = \omega_0^3 \frac{T_s^* r}{K_3}. \quad (6)$$

Тогда, с учётом выражений (2), (3) и (6) уравнения астатического наблюдателя для восстановления скорости и момента нагрузки асинхронной машины:

$$\begin{cases} \hat{i}'_{sq} = \frac{K_p}{T_s^* r} \cdot U_c - \frac{1}{T_s^*} \left( \frac{K_2}{r} + 1 \right) \hat{i}_{sq} - \frac{K_3}{T_s^* r} \hat{\omega}_d + g_{11} (i_{sq} - \hat{i}_{sq}); \\ \hat{\omega}'_d = \frac{K_1}{J} \hat{i}_{sq} - \frac{1}{J} \hat{M}_n + g_{21} (i_{sq} - \hat{i}_{sq}); \\ \hat{M}'_n = g_{31} (i_{sq} - \hat{i}_{sq}). \end{cases}$$

Структурная схема векторной системы стабилизации скорости с наблюдающим устройством, приведена на рисунке 1.

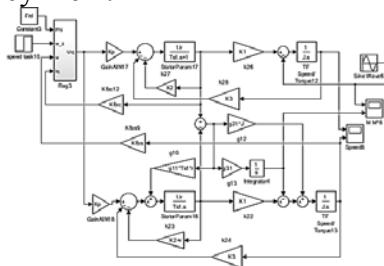


Рисунок 1 – Структурная схема системы, замкнутой через наблюдатель

Параметры модели:  $L_s=0.169$ ;  $R_s=1.32$ ;  $R_r=0.922$ ;  $L_r=0.1715$ ;  $n=2$ ;  
 $L_m=0.164$ ;  $J=0.0206 \cdot 9.86$ ;  $K_r = L_m/L_r$ ;  $L_{s1}=(L_s-L_m)^2/L_r$ ;  $r=(R_s+K_r^2 \cdot R_r)$ ;  $T_r=L_r/R_r$ ;  
 $T_{s1}=L_{s1}/r$ ;  $K_p=20$ ,  $M_n=2 \cdot M_{dn}$ ;  $M_{dn}=3.6$ . Результаты моделирования системы стабилизации скорости, с восстановлением скорости и момента, показаны на рисунке 2.

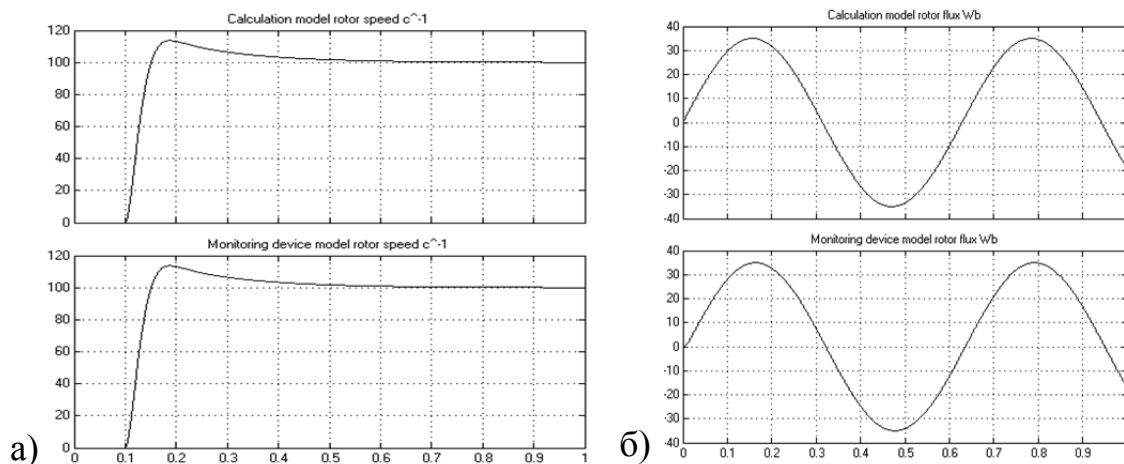


Рисунок 2 – Переходные процессы скорости (а) и момента (б) в системе стабилизации скорости, с восстановлением скорости и момента, (сверху реальные, снизу восстановленные)

### Заключение

В результате моделирования векторной системы управления асинхронным двигателем с наблюдающим устройством были получены кривые переходных процессов с реальной и восстановленной скоростью и моментом. Из рисунка 2 а) видно, что переходные процессы по реальной и восстановленной скорости совпадают. Восстановленный момент (рисунок 2 б)) полностью совпадает с реальным по амплитуде и фазе.

Следовательно, полученное в результате синтеза наблюдающее устройство, может использоваться в системах векторного управления асинхронной машиной, для восстановления скорости и момента.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Герман-Галкин, С.Г. Matlab/Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С.Г. Герман-Галкин – Санкт-Петербург : КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
2. Терёхин, В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терёхин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 320 с.
3. Самар, Д. Е. Модальный регулятор скорости для асинхронного электродвигателя / Д. Е. Самар, В. А. Егоров // 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. 255-258. – EDN WQEGOS.
4. Кузовков, Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н.Т. Кузовков – Москва : Машиностроение, 1976. – 184 с.
5. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев – Москва : Наука, 1980. 974 с.

УДК 681.5

Саяпина Полина Олеговна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Sayarina Polina Olegovna, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Крупский Роман Фаддеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры  
«Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Krupsky Roman Faddeevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics and Innovative Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ УСКОРИТЕЛЯМИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СРЕД**

### **EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR THE STUDY OF THE CONTROL LAWS OF ELECTROMAGNETIC ACCELERATORS OF FERROMAGNETIC ENVIRONMENT**

Аннотация. Показана актуальность исследования электромагнитного ускорителя ферромагнитных частиц для дробеметных (дробеструйных) аппаратов. Рассмотрены устройства ускорения сыпучих ферромагнитных сред и выявлено, что наиболее перспективными являются устройства, принцип действия которых основывается на взаимодействии магнитного момента ферромагнитных частиц с импульсным магнитным полем. Приведена схема экспериментальной установки электромагнитного ускорителя, рассмотрена система управления и движения ферромагнитных сред в магнитном поле.

Abstract. The relevance of the study of the electromagnetic accelerator of ferromagnetic particles for shot blasting (shot blasting) devices is shown. Devices for accelerating bulk ferromagnetic environment are considered and it is revealed that the most promising devices are those whose principle of operation is based on the interaction of the magnetic moment of ferromagnetic particles with a pulsed magnetic field. The scheme of the experimental installation of an electromagnetic accelerator is presented, the control system and motion of ferromagnetic media in a magnetic field are considered.

Ключевые слова: электромагнитный ускоритель, система управления, магнитное поле, ферромагнитная среда.

Key words: electromagnetic accelerator, control system, magnetic field, ferromagnetic environment.

#### **Введение**

В литейном и формообразующем производстве широко применяется обработка поверхностей изделий, полученных после изготовления, ферромагнитной дробью или абразивом. Такие технологические процессы осуществляются с помощью устройств (дробеметных или дробеструйных аппаратов), в которых происходит ускорение частиц ферромагнитного материала за счет использования энергии движущихся газов, жидкостей или механической энергии различных тел вращения. Однако, такие устройства не удовлетворяют современным требованиям с точки зрения надежности, экономичности и экологии.

Главный недостаток этих устройств - быстрый износ рабочих поверхностей аппаратов, по которым дробь или абразив, скользит под действием центробежной силы, обусловленный большим трением частиц ферромагнитного материала о поверхность. Для работы аппаратов требуются большие затраты энергии.

На поверхность обрабатываемых изделий из аппаратов выбрасывается расходящийся поток (факел) частиц. Для эффективной обработки импульс, передаваемый частицами ферромагнитного материала поверхности обрабатываемого изделия, должен иметь достаточно большую величину. Поскольку он равен произведению массы отдельной частицы на скорость, то для получения необходимого импульса при малой массе частиц последние разгоняются в таких устройствах до высоких скоростей порядка 60 – 80 м/с.



## Основная часть

Широкий факел разгоняемых частиц резко снижает эффективность использования аппаратов при обработке малогабаритных изделий. Кроме того, при эксплуатации таких устройств создаются неблагоприятные санитарно-гигиенические условия на рабочих местах. Ограничена возможность автоматизации работы аппаратов.

Одним из общепризнанных направлений в разработке устройств, отвечающих запросам современных технологий, является непосредственное использование электромагнитных сил для ускорения сыпучих ферромагнитных материалов, представляющих собой сыпучую ферромагнитную среду. О перспективности этого направления свидетельствует широкое практическое применение взаимодействия магнитного поля с сыпучей ферромагнитной средой в электромагнитных методах сепарации и магнитно-абразивной обработки. Однако, в разработке устройств электромагнитного ускорения сыпучих ферромагнитных материалов до сих пор наблюдается заметное отставание. Несмотря на многочисленные авторские свидетельства и патенты в этой области, промышленных аппаратов не создано.

Многочисленные исследования, посвящённые устройствам для ускорения сыпучей ферромагнитной среды, принцип действия которых основан на взаимодействии магнитного момента ферромагнитных частиц с магнитным полем. В предлагаемых устройствах, порция сыпучего ферромагнитного материала разгоняется по прямой направляющей трубе из немагнитного и непроводящего материала под действием импульсного магнитного поля. Это поле создается катушками (индуктором), надетыми последовательно друг за другом на трубу. В катушки попеременно подаются импульсы постоянного тока. В промежутках между импульсами порция ферромагнетика движется по инерции. Регулируя амплитуду, длительность и время следования импульсов, можно добиться такого режима работы устройств, при котором порция сыпучей ферромагнитной среды приобретает ускорение в прямой направляющей трубе [5].

При расчете динамики движения порции ферромагнетика предполагается, что сгусток частиц ферромагнитного материала не деформируется в процессе разгона, а магнитная проницаемость материала постоянна по объему сгустка и не изменяется во время его перемещения. Кроме того допускалось, что значение аксиальной составляющей результирующей электромагнитной силы прямо пропорционально току индуктора на основании экспериментально установленной линейной зависимости электромагнитной силы от тока в интервале изменения магнитодвижущей силы (0,5 – 1,0)10 А [2].

Система управления данной экспериментальной установкой, представленной на рисунке 1, заключается в последовательной и безошибочной обработки входных /выходных сигналов, поступающих с пульта оператора установки [3-4].

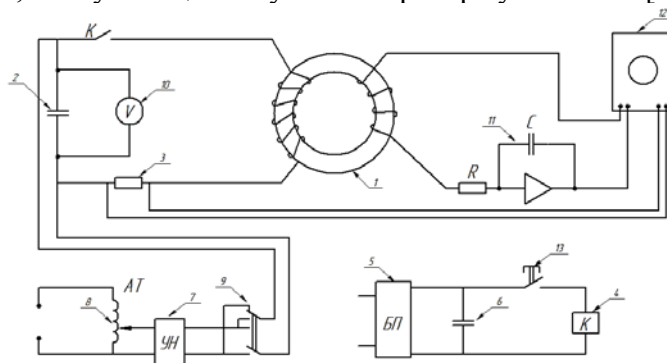


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки электромагнитного ускорителя:  
1 – контейнер с дробью, 2 – накопительная конденсаторная батарея, 3 – измерительный шунт, 4 – коммутирующий конденсатор, 5 – блок питания, 6 – форсирующая конденсаторная батарея, 7 – умножитель напряжения, 8 – ЛАТР, 9 – перекидной ключ, 10 – контрольный вольтметр, 11 – электронный интегратор, 12 – двухканальный запоминающий осциллограф, 13 – пусковая кнопка.

Накопительная конденсаторная батарея 2 заряжается от сети через ЛАТР 8 и умножитель напряжения 7 до требуемого натяжения, контроль значения которого ведётся по вольтметру 10. При достижении напряжения заряда накопительной батареи требуемой величины производится её отключение от умножителя напряжения путем размыкания ключа 9. При нажатии пусковой кнопки 13 включается коммутационный контактор 4 и происходит разряд конденсаторной батареи на намагничивающий соленоид контейнера 1. Для сокращения времени включения коммутационного контактора параллельного обмотке включается предварительно заряженная от блока питания 5 форсирующая конденсаторная батарея 6. Точность заряда накопительной конденсаторной батареи достигается путём регулировки напряжения на входе умножителя автотрансформатором. Перекидной ключ 9 позволяет производить разнополярную зарядку накопительной конденсаторной батареи [1].

### **Заключение**

Рассмотрение большого количества устройств ускорения сыпучих ферромагнитных сред показало, что наиболее перспективными являются устройства, принцип действия которых основывается на взаимодействии магнитного момента ферромагнитных частиц с импульсным магнитным полем. В таких устройствах предполагается наличие прямой направляющей трубы из непроводящего и немагнитного материала, по которой разгоняется порция сыпучей ферромагнитной среды под воздействием магнитного поля катушек, питаемых импульсами постоянного тока. Исключительно важное значение при расчете указанных устройств, приобретает разработка методов расчета взаимодействия ферромагнитных частиц между собой и распределения электромагнитных сил по объему порции, а также создания системы управления установкой.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Саяпина, П. О. Измерительная электромеханическая система / П. О. Саяпина, Р. Ф. Крупский // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 5(69). – С. 23-29. – DOI 10.17084/20764359-2023-69-23. – EDN XUIPKA.
2. Саяпина, П. О. Особенности антенно-фидерных систем наземного сегмента космических систем. Управление азимутом и элевацией антенн в радиолинии космос-земля / П. О. Саяпина, К. К. Ким // 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 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 361-364. – EDN YERLVN.
3. Kim, K. K. Synthesis of the control device of the electromechanical drive of the main valve / K. K. Kim, S. N. Ivanov, A. V. Gorbunov // Proceedings - 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020, Sochi, 18–22 мая 2020 года. – Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. – P. 9112086. – DOI 10.1109/ICIEAM48468.2020.9112086. – EDN DHUPJK.
4. Голоколос, Д. А. Синтез системы управления экранированным асинхронным двигателем на основе векторного описания / Д. А. Голоколос, К. К. Ким, С. Н. Иванов, К. О. Бельский // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 1(65). – С. 31-39. – DOI 10.17084/20764359-2023-65-31. – EDN WWMCQH.
5. Парселл, Э. Электричество и магнетизм : Учебное руководство : Перевод с английского / Э. Парселл ; под редакцией А. И. Шальникова, А. О. Вайсенберга. 3-е изд., испр. – Москва : Наука, 1983. – 416 с.

УДК 681.5.017:681.521

Сбитнев Никита Романович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Sbitnev Nikita Romanovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Петровский Константин Павлович, учащийся, МОУ «Инженерная школа города Комсомольска-на-Амуре»

Petrovsky Konstantin Pavlovich, student, MOU "Engineering School of Komsomolsk-na-Amure"

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

Черный Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Cherny Sergey Petrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПЛАТФОРМЫ СТЮАРТА**

### **PECULIARITIES OF STEWART PLATFORM STABILIZATION CONTROL IMPLEMENTATION**

Аннотация. В представленной работе рассматривается один из возможных подходов к моделированию системы управления объектом физические свойства и геометрические параметры. В качестве рассматриваемой системы реализующей кинематику и физические свойства объекта используется типовая модель с дельта-кинематикой – платформа Стюарта.

Abstract. The presented work considers one of the possible approaches to modeling the control system of the object physical properties and geometric parameters. A typical model with delta kinematics - Stewart platform - is used as the considered system realizing kinematics and physical properties of the object.

Ключевые слова: платформа Стюарта, имитационное моделирование, кинематика, система управления

Key words: Stewart platform, simulation modeling, kinematics, control system.

#### **Введение**

При реализации сложных объектов и систем регулирования ими, включающих в себя мехатронные системы со сложной кинематикой и динамическими составляющими, большое количество финансовых и временных затрат уходит на натурное моделирование объекта и отладку системы управления. Одной из проблем интеграции системы управления является её длительная многоитерационная отладка на физическом объекте и при не сопоставлении некоторых геометрических параметров физического объекта его переделывают и повторяют отладку системы управления. При этом такой подход несёт огромные временные потери при создании сложных робототехнических систем. Для снижения количества ошибок необходимо применять имитационное моделирование, которое позволяет интегрировать систему управления в имитационную модель объекта и производить эксперименты на наглядной 3D модели. Это позволит существенно приблизить формализуемый технологический объект к его реальному физическому состоянию. Такой подход создания прототипов на основе имитационного моделирования представляет собой актуальную задачу для таких сложных технологических процессов, как мехатронные модули.

#### **Основная часть**

Для реализации имитационной модели объекта с применением физических и геометрических свойств [1] для последующих экспериментов над ней, рассмотрим типовую модель платформы Стюарта с шестью степенями свободы [2]. Для эмуляции работы физического объекта в имитационной модели, необходимо добавить трехмерный объект с присущими ему геометрическими свойствами в структуру имитационной модели. При построении мо-

дели платформы Стюарта, необходимо учитывать различные кинематические особенности для воссоздания условий реального объекта, например шарнирные соединения между подвижной платформой и рычагами, установленными на сервомоторах [3]. Итоговая модель с учетом всех особенностей представлена на рисунке 1.

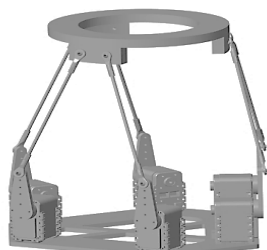


Рисунок 1 – Визуализация имитационной модели платформы Стюарта

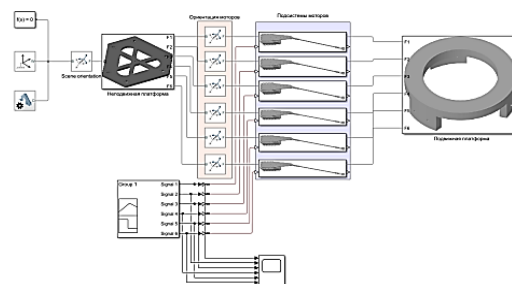


Рисунок 2 – Имитационная модель платформы Стюарта

На рисунке 2 показана тестовая имитационная модель, в которой положение движущихся частей платформы относительно неподвижных компонентов может быть изменено путем сдвига положения вала серводвигателя в виде сгруппированных подсистем, которые определяют динамику и физические свойства элементов, составляющих объект [4].

На рисунке 3 изображена подсистема серводвигателя, имеющая в своем составе кинематические взаимосвязи между статической и подвижной частями платформы.



Рисунок 3 – Модель подсистемы сервомотора

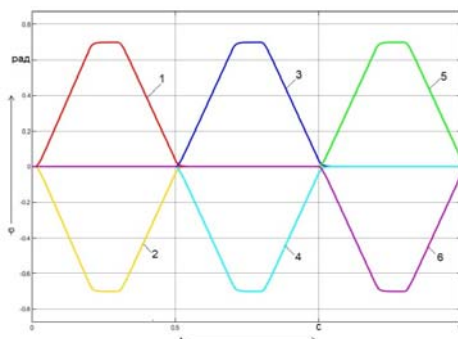


Рисунок 4 – Переходные процессы изменения положения серводвигателей

На рисунке 4 представлены переходные процессы исполнительных устройств [5], отображающие реакцию системы на подачу задающего воздействия в виде некоторого набора сигналов трапецевидной формы. Переходные процессы для каждого из шести двигателей попарно эквивалентны и имеют плавность протекания, что обусловлено физическими нелинейными свойствами объекта управления.

### Заключение

Визуализация объекта в имитационной модели является важным инструментом для анализа и синтеза системы управления. Она обеспечивает более точное описание процессов регулирования и его физических свойств, что позволяет существенно минимизировать ряд ограничений при описании объекта регулирования. Кроме того, использование трехмерной модели позволяет проводить эксперименты и исследования, которые могут быть невозможны на реальных объектах из-за их высокой стоимости или опасности. Применение такого подхода в имитационном моделировании позволит отлаживать различные процессы при автоматизации сложных мехатронных объектов управления.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Improving the Functioning of the Cybernetic Control System of the Mechatronic Module of the Robotic Complex / A. I. Gorkavyu, M. A. Gorkavyu, M. A. Melnichenko, A. V. Berkh // *Informat-ics and Cybernetics in Intelligent Systems. Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference 2021, Vol. 3 : Proceedings of 10th Computer Science On-line Conference*, online, 21 апреля – 02 2021 года. – online, 2021. – P. 702-709. – DOI 10.1007/978-3-030-77448-6\_67. – EDN JEADBS.
2. 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 ОКВАКТ.
3. Digital technologies of training on flight simulators / K. S. Sholanov, V. S. Eshpanov, Zh. S. Artykbaev, M. V. Sarsembai // *Педагогика, психология, общество: актуальные вопросы : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Чебоксары, 01 декабря 2020 года*. – Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский дом «Среда», 2020. – P. 156-160. – EDN DDRNQO.
4. Турлапов, В. Е. Анализ положений платформ Стюарта, основанный на варианте структуры, разрешимом в радикалах / В. Е. Турлапов // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. – 2005. – № 1(6). – С. 54-59. – EDN KWHZZF.
5. Лапиков, А. Л. Решение прямой задачи кинематики для платформы Гью-Стюарта с использованием аналитического уравнения плоскости / А. Л. Лапиков, В. Н. Пащенко // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. – 2014. – № 4. – С. 124-134. – DOI 10.7463/0414.0706936. – EDN SJAQCI.

УДК 629.584

Томских Антон Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Tomskikh Anton Alekseevich, 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, Komsomolsk-na-Amure State University  
Черный Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
«Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-  
Амуре государственный университет  
Cherny Sergey Petrovich, Ph.D., associate professor, Head of Electric Drive Engineering and  
Industrial Automation Department, Komsomolsk-na-Amure State University

## ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АВТОНОМНЫМ НЕОБИТАЕМЫМ ПОДВОДНЫМ МОДУЛЕМ

### FEATURES OF SIMULATION OF MOVEMENT BY AN AUTONOMOUS UNMANNED UNDERWATER MODULE

Аннотация. Статья рассматривает особенности реализации систем управления исследовательскими подводными беспилотными модулями. Подводные беспилотные модули являются важной технологией для исследования подводных ресурсов, а также для выполнения различных задач в морских и океанских областях. Одним из главных аспектов, рассматриваемых в статье, является разработка алгоритмов управления, включающих в себя перемещения.

Annotation. This article examines the features of realizing control systems for research underwater unmanned modules. Underwater unmanned modules are an important technology for exploring underwater resources as well as for performing various tasks in marine and oceanic domains. One of the main aspects discussed in the paper is the design of control algorithms that include movements.

Ключевые слова: подводная робототехника, подводные технологии, исследовательские подводные беспилотные модули, интеллектуальные системы управления перемещением.  
Key words: underwater robotics, underwater technologies, research underwater unmanned modules, intelligent communication control systems.

## Введение

В настоящее время изучение океана при помощи космических спутников является одним из самых эффективных способов проведения океанографических исследований. Научно-исследовательские спутники позволяют получать данные о температуре воды, солёности, глубинах и даже о качестве воды из космоса. Первые эксперименты по изучению океана из космоса проводились еще с борта станции «Союз-6» с использованием сложного технологичного оборудования. Однако стоимость таких исследований оказалась высокой, и для изучения сложно доступных регионов подводного мира, таких как подводные пещеры, были разработаны и использованы исследовательские подводные беспилотные модули. Эти модули представляют собой совокупность передовых технических решений, которые способны погружаться на большие глубины и справляться с задачами изучения глубоководного пространства. Таким образом, они позволяют проводить более точные и детальные исследования океана, открывая новые горизонты для науки и познания подводного мира [1].

Одним из основных преимуществ таких модулей является способность дистанционного управления [2]. Беспилотные подводные модули оснащены специальной электроникой, которая позволяет транслировать полученную информацию при помощи беспроводных технологий. Такая связь может быть реализована при помощи различных средств передачи данных, например, оптическая, акустическая или при помощи радиосигналов. На данный момент, технологии позволяют транслировать информацию в реальном времени, что позволяет получать достоверную информацию напрямую оператору модуля [3]. Однако подводные беспилотные модули часто работают в автономном режиме, где системе управления требуется самостоятельно принимать решения на основе собранных данных и текущей обстановки миссии. Системы управления должны уметь анализировать данные, прогнозировать события из заданных условий и задач.

В связи с этим, перед многими ведущими мировыми научно-исследовательскими центрами стоит задача разработки систем управления, в том числе универсальных, ориентированных на определенные классы подводных модулей.

## Основная часть

Процесс движения автономного необитаемого подводного модуля обладает рядом особенностей, которые необходимо учесть при построении имитационной модели, а именно инерционные свойства жидкости и влияние гидростатических и гидродинамических сил на подводный модуль. Функциональная схема системы управления перемещением автономного необитаемого подводного модуля изложена на рисунке 1. В ней учтены присоединенные массы и моменты инерции окружающей подводный модуль жидкости; подъемная, продольная и боковая гидродинамические силы подводного робота, вес подводного модуля и сила Архимеда, действующая на него.

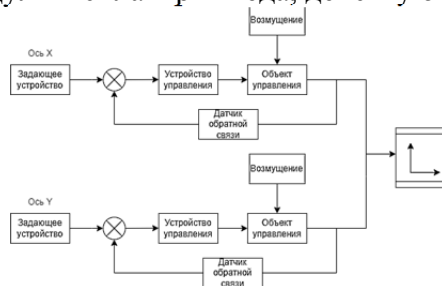


Рисунок 1 – Функциональная схема системы управления перемещением автономного необитаемого подводного модуля.

Беспилотный подводный модуль должен обладать высокой манёвренностью и устойчивостью к различным внешним воздействиям. Для обеспечения нужной манёвренности модуль оснащается системой гидродинамической стабилизации [4]. Механизмы управления модулем должны быть разработаны таким способом, чтобы модуль соответствовал нужным критериям устойчивости и точности движения [5].

Кроме того, системы управления подводным модулем должны быть надежными и хорошо защищены от различного рода повреждений [6]. Также стоит отметить, что подводные модули могут столкнуться с опасными ситуациями, такими как подводные препятствия.

Система управления такими модулями должна обеспечивать защиту подводного модуля, например, с помощью систем предотвращения столкновений или заранее прогнозируемой траектории [7].

### **Заключение**

Разработка имитационной модели является важным инструментом для анализа и оптимизации системы управления перемещения автономного необитаемого подводного аппарата. Такая модель позволит более точно описать не только процессы регулирования перемещения, но и упростит процесс анализа динамических характеристик модуля, таких как устойчивость, манёвренность и управляемость. Это позволит произвести эмуляцию испытаний в физической среде и выявить основные неисправности и показатели системы управления, которые нуждаются в доработке. Таким образом, использование такого класса объектов в имитационном моделировании позволяет проводить эксперименты и исследования, которые могут быть невозможны, либо трудно реализуемы в реальных условиях.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Томских, А. А. Повышение показателей эффективности системы управления подводным роботом при помощи LQR-регулятора / А. А. Томских, Н. С. Шушарин, Д. О. Савельев // 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. 264-267. – EDN QZYLQJ.

2. Томских, А. А. Особенности и проблемы реализации систем управления связью в исследовательских необитаемых подводных модулях / А. А. Томских, 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. 279-281. – EDN KFMRLI.

3. Томских, А. А. Особенности реализации систем управления исследовательскими подводными беспилотными модулями / А. А. Томских, Д. О. Савельев, С. П. Черный // 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. 90-93. – EDN DRFKGO.

4. Шушарин, Н. С. Подводный робот для проведения сварочных работ в тяжелых условиях / Н. С. Шушарин, Д. О. Савельев // 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. 138-140. – EDN BFXAVE.

5. Savelyev, D. O. Stabilizing the transients in the objects and systems controlling the compensation of nonlinear ACS (Automatic Control System) elements / D. O. Savelyev, A. S. Gudim, D. B. Solovev // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019, Vladivostok, 01–02 марта 2019 года. – Vladivostok, 2019. – P. 8725324. – DOI 10.1109/Eastconf.2019.8725324. – EDN LTRLHU.

6. Белов Б.П. Проектирование информационно-управляющих систем подводной робототехники. / Санкт-Петербургский гос. морской технический ун-т». – Санкт-Петербург: СПбГМТУ, 2008.— 216 с.

7. Savelyev, D. O. Stabilizing the transients in the objects and systems controlling the compensation of nonlinear ACS (Automatic Control System) elements / D. O. Savelyev, A. S. Gudim, D. B. Solovev // 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", EastConf 2019, Vladivostok, 01–02 марта 2019 года. – Vladivostok, 2019. – P. 8725324. – DOI 10.1109/Eastconf.2019.8725324. – EDN LTRLHU.

Шелковников Вадим Юрьевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
 Shelkovnikov Vadim Yurievich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University  
 Соловьев Вячеслав Алексеевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Soloviev Vyacheslav Alexeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of "Electrical drive and automation of industrial installations", Komsomolsk-na-Amure State University

## АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

### ANALYSIS OF OPERATING MODES OF AN ASYNCHRONIZED SYNCHRONOUS GENERATOR

Аннотация. Статья посвящена анализу функционирования асинхронизированного синхронного генератора в различных режимах с использованием скалярной системы управления. Выявлены особенности работы генератора на скоростях выше и ниже синхронной. Приведены мероприятия для ослабления влияния негативных явлений.

Abstract. The article is devoted to the analysis of an asynchronized synchronous generator, operating in various modes with the use of a scalar control system. The features of the generator, functioning at speeds above and below synchronous, are revealed. The events are given to weaken the impact of negative phenomena.

Ключевые слова: машина двойного питания, асинхронизированный синхронный генератор, переменная скорость вращения вала ротора, скалярная система управления.

Keywords: double powered machines, asynchronized synchronous generator, variable speed of the rotor shaft, scalar control system.

#### Введение

Исследования поведения асинхронизированного синхронного генератора в различных режимах проводились с использованием имитационной модели генератора, основой создания которой послужило соответствующее математическое описание машин двойного питания [2], представленное в статье [1]. Для обеспечения стабилизации выходного напряжения статора генератора в программном пакете Matlab / Simulink была разработана скалярная система управления, схема которой приведена на рисунке 1. Представленным на рисунке 1 обозначениям соответствуют:  $U_{amp}$  – номинальная желаемая амплитуда генерируемого напряжения статора;  $U_1 amp$  – текущая амплитуда напряжения статора;  $P_1$  – текущее значение активной мощности статора;  $f_2$  – текущая частота вращения магнитного поля ротора;  $U_2 amp$  – сигнал задания амплитуды формируемого напряжения ротора;  $U_2 phi$  – сигнал задания угла сдвига вектора напряжения ротора.

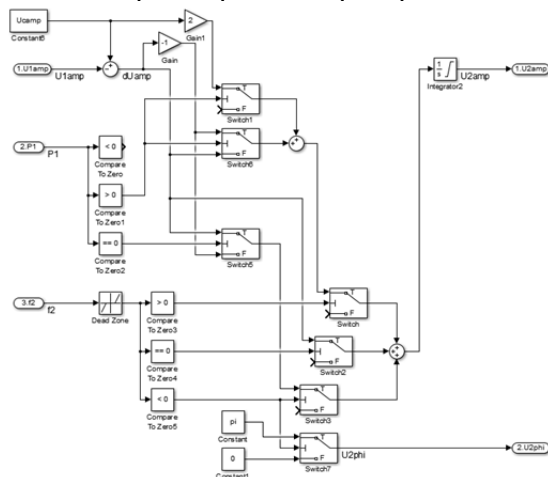


Рисунок 1 – Модель блока скалярного управления генератора



### Основная часть

Рассмотрим основные особенности функционирования асинхронизированного синхронного генератора. В режиме, когда скорость вращения вала снижается ниже синхронной скорости, тогда частота  $f_2$  напряжения, подаваемого на обмотки ротора, должна быть положительна, что соответствует прямому чередованию фаз. Если на таких скоростях активная мощность статора  $P_1$  становится положительна, то есть начинает потребляться обмотками статора, то генератор начинает работать в режиме двигателя из-за недостаточного возбуждения. В таком случае надо увеличивать амплитуду напряжения ротора  $U_{2amp}$ .

Кроме того, на скоростях ниже синхронной может возникать ситуация, когда амплитуда напряжения статора  $U_{1amp}$  достигла номинального значения и ошибка регулирования стала равна нулю. Однако генератор продолжает работать в режиме двигателя и поддерживает амплитуду напряжения за счет потребления активной мощности статора  $P_1$ . Поэтому необходимо дополнительно продолжать увеличивать амплитуду напряжения ротора  $U_{2amp}$ , пока активная мощность  $P_1$  не станет отдаваться обмотками статора с дальнейшей стабилизацией напряжения статора.

При достижении номинальной синхронной скорости вращения вала частота напряжения ротора  $f_2$  должна равняться нулю. То есть с преобразователя частоты подается постоянное напряжение на обмотки ротора – на одну фазу подается  $(+U_{2amp})$ , а на вторую фазу  $(-U_{2amp})$ . Третья фаза обмотки ротора остается незадействована [4]. На синхронной скорости амплитуда напряжения ротора  $U_{2amp}$  задается только с помощью сигнала рассогласования (ошибки регулирования), независимо от наличия подключаемой электрической нагрузки.

При дальнейшем увеличении и достижении сверх синхронной скорости вращения вала, частота  $f_2$  напряжения ротора становится отрицательна, что соответствует обратной последовательности чередования фаз. Это указывает на то, что магнитное поле, создаваемое протекающими в обмотках ротора переменными токами, начинает вращаться в обратном направлении и компенсирует сверхсинхронную скорость вращения вала [4].

На холостом ходу, когда мощность статора  $P_1$  равна нулю, амплитуда напряжения ротора  $U_{2amp}$  задается с помощью сигнала рассогласования. В случае, когда подключается электрическая нагрузка, сигнал задания  $U_{2amp}$  должен увеличиваться до тех пор, пока ошибка регулирования не станет равна нулю.

Кроме того, механическая мощность, действующая на вал ротора на сверхсинхронной скорости, становится избыточна. В этом случае системой управления задается угол сдвига вектора напряжения ротора  $U_{2phi} = \pi$  (радиан). Вектор напряжения ротора разворачивается на  $180^\circ$  в обратную сторону от вектора тока ротора. В результате активная мощность начинается отдаваться не только обмотками статора, но и обмотками ротора.

Реактивная мощность  $Q_2$  во всех режимах расходуется индуктивностями обмоток ротора для обеспечения возбуждения генератора. Величина потребления реактивной мощности зависит от скорости вращения вала ротора. Анализ результатов моделирования показал, что при одинаковом диапазоне изменения скоростей вращения вала ниже и выше синхронной скорости ( $\pm 0,3 \cdot \omega_0$ ), на скоростях ниже синхронной ( $0,7 \cdot \omega_0$ ) необходимо подавать немного большую амплитуду напряжения ротора  $U_{2amp}$ , нежели на сверхсинхронной скорости ( $1,3 \cdot \omega_0$ ).

Результатами моделирования показано, что независимо от скорости вращения вала и меняющейся электрической нагрузки, скалярная система управления поддерживает частоту напряжения и тока статора  $f_1$  в пределах (48,5 – 51,5) Гц.

Однако в момент подключения нагрузки проекция тока статора  $i_{1d}$  начинает влиять на соответствующую проекцию тока ротора  $i_{2d}$  через взаимную индуктивность  $L_\mu$ . В переходных режимах появляется динамическая составляющая тока ротора, которая не может быть отрегулирована с помощью только одной проекции напряжения ротора  $U_{2q}$ .

Форма тока ротора создает аналогичную форму напряжения, наводимого на обмотках статора. В связи с этим, при нагрузках порядка ( $0,5 \cdot i_{1\text{ номинал}}$ ) и более амплитуда напряжения статора поддерживается с достаточно большой динамической ошибкой. Но в установившихся режимах ошибка регулирования все также равна нулю.

## Заключение

При более высоких темпах изменения тока статора и скорости вращения вала возрастает и ошибка регулирования. Данная ошибка может быть снижена путем компенсации динамических составляющих тока ротора, создаваемых изменениями тока статора и скорости вращения вала.

В таком случае система управления должна быть усложнена введением дополнительных обратных связей тока статора и ротора. Кроме того, система управления должна обеспечивать векторное управление обеими проекциями вектора напряжения ротора  $U_{2d} - U_{2q}$ .

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шелковников, В. Ю. Динамическая модель асинхронизированного синхронного генератора / В. Ю. Шелковников, В. А. Соловьев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы V Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 3 ч., Комсомольск-на-Амуре, 11–15 апреля 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – Ч. 2. – С. 99-101.

2. Усольцев, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев // Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО. – 2006. – 94 с.

3. Дубовик, М.Е. Динамическая модель машины двойного питания при управлении со стороны ротора / М.Е. Дубовик, В.А. Соловьев // Электротехнические системы и комплексы. – 2019. – № 2(43). – С. 60–64. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-2\(43\)-60-64](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-2(43)-60-64)

4. Шайбеков, А.Ф. Электромагнитные процессы в асинхронизированной синхронной машине / А.Ф. Шайбеков, Л.Э. Рогинская, В.В. Семенов // Вестник уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19, №4. – с. 72-76.

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 University

## ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОЧЕРЕДИ КОМАНД В ПЛК ПОСРЕДСТВОМ ПАНЕЛИ ОПЕРАТОРА

## PECULIARITIES OF REALISATION OF COMMAND QUEUE FORMATION IN THE PLC BY MEANS OF THE OPERATOR PANEL

Аннотация. В статье рассмотрены особенности алгоритма чтения управляющей программы, необходимого для реализации системы управления роботизированным комплексом печати металлических изделий. Детально описываются методы обеспечения связи переменных и тегов в памяти панели оператора. Рассматриваются варианты запуска алгоритма, реализованного в виде скрипта, на панели оператора.

Abstract. The article considers the features of the algorithm of reading the control program necessary for the realization of the control system of the robotic complex for printing metal products. The methods of providing the connection of variables and tags in the memory of the operator panel are described in detail. The variants of launching the algorithm realized as a script on the operator panel are considered.

Ключевые слова: роботизированный комплекс, трехмерная печать, алгоритм, очередь команд  
Key words: robotic complex, 3D printing, algorithm, command queue

## **Введение**

В настоящее время в Комсомольском-на-Амуре государственном университете разрабатывается роботизированный комплекс трехмерной печати металлами с применением технологии «DED» (Directed Energy Deposition) [1]. Данная технология представляет собой трехмерную печать металлами с использованием в качестве материала металлической проволоки, которая расплавляется лазерным лучом, при этом проволока с лучом перемещаются в пространстве промышленным роботом, формируя трехмерный объект [2]. В рамках реализации системы управления роботизированного комплекса необходимо обеспечить формирование в памяти ПЛК очереди команд управляющей программы печати. Формирование очереди в памяти ПЛК происходит со стороны панели оператора, связанной с ПЛК по протоколу ProfiNET, которая обрабатывает представленную в виде текстового файла управляющую программу, расположенную на флеш-накопителе [3].

В рамках данной работы рассмотрены особенности формирования очереди команд в памяти ПЛК посредством программных средств, реализуемых на панели оператора: методы обеспечения связи переменных и тегов в памяти панели оператора, варианты запуска алгоритма, реализованного в виде скрипта, на панели оператора.

## **Основная часть**

Для обработки управляющей программы и впоследствии формирования очереди команд в памяти ПЛК был разработан алгоритм чтения такой программы. Основной принцип работы алгоритма заключается в построчном чтении текстового файла с программой, идентификации команды и её параметров, а затем записи команды с параметрами в заранее выделенные объекты в памяти ПЛК.

Для практической реализации разработанного алгоритма чтения программы необходимо решить следующие задачи:

- обеспечение связи переменных и тегов в памяти панели оператора NMI TP700 Comfort с тегами и переменными в памяти ПЛК Siemens S7-1500;
- обеспечение запуска алгоритма в соответствующее время;

Первая задача решалась следующим образом. В памяти ПЛК были созданы области для хранения очереди команд. Так как необходимо было обеспечить последовательного перебора команд в очереди, потребовалось использовать массивы. При этом внутри каждой команды содержится набор разнородных данных, отвечающих за ее параметры. Поэтому в качестве элементов массивов использованы структуры, содержащие параметры команды. Массивы структур сформированы в набор различных баз данных в памяти ПЛК. Это позволило для каждого типа команд сформировать свой массив с параметрами. Для организации правильного порядка обращения к командам из различных баз организован массив с главной очередью, в которой содержатся отсылки к необходимым БД и статус команды.

Для организации доступа к данным в памяти ПЛК использовались тэги в памяти панели оператора. Было опробовано три возможных варианта использования тегов – обращение к базе данных с заранее вычисленным смещением относительно ее стартового байта, мультиплексирование тега и использование тегов с динамической адресацией. При апробации первый вариант не смог обеспечить чтение содержимого памяти ПЛК, так как базы данных, содержащие массивы, подвергаются оптимизации их размещения в памяти ПЛК и невозможно обеспечить корректность определения смещений при доступе к данным. Второй вариант позволил создать тег, содержащий информацию о всех элементах массива, а значения тега изменяется в зависимости от его тег-индекса, который хранится внутри мультиплексного тега. Однако мультиплексный тег не поддерживает формат структуры и требует создание тегов для каждого элемента структуры, что значительно усложняет способ обращения к базе данных в памяти ПЛК.

Для реализации третьего варианта используется совместно пара тегов в памяти панели оператора – один тег, соответствующий структуре элемента массива, и второй тег-индекс, используемый для задания индекса массива при обращении к памяти ПЛК. Данный подход позволил реализовать доступ к данным очереди команд в памяти ПЛК со стороны панели оператора.

Вторая задача решалась следующим образом. Для чтения и обработки строк файла управляющей программы на панели оператора был создан скрипт на языке VBscript, кото-

рый не является активной частью экранных форм отображаемого интерфейса оператора и запускается при заданных условиях. Именно вопрос правильного и своевременного запуска решался в рамках данной задачи. Первоначально был опробован наиболее распространенный подход по запуску такого скрипта – по нажатию кнопки на интерфейсе. Однако, в данном случае скрипт работал только в тот момент, пока было взаимодействие пользователя с панелью оператора, и скрипт не отработывал полный цикл алгоритма.

Далее был опробован другой подход, а именно – запуск скрипта по изменению содержимого тега в памяти ПЛК. Для этого потребовалось создать подпрограмму на ПЛК, реализованную на языке LAD, принцип работы которой заключался в записи нового значения в тег памяти ПЛК с определенной задержкой после запуска подпрограммы. На панели оператора создан дополнительный тег, связанный с тегом ПЛК, который запускает скрипт по событию изменения значения тега. Особенность данной подпрограммы заключается в том, что при выполнении реальной задачи по печати некоторого изделия данная подпрограмма будет запускаться в начале цикла печати и содержимое тега после запуска не меняется до завершения программы печати. Это позволяет обеспечить однократный запуск и непрерывное выполнение скрипта на панели оператора в течение всего процесса печати.

### **Заключение**

В рамках данной работы были описаны особенности реализации формирования очереди команд в памяти ПЛК для системы управления роботизированным комплексом трехмерной печати металлических изделий с применением технологии DED [4]. Были описаны принципы организации очереди на основе связи баз данных памяти ПЛК с тегами с динамической адресацией в памяти панели оператора, а также было экспериментально опробовано обращение к базе данных с заранее вычисленным смещением относительно ее стартового байта и обращение с применением мультиплексирования тега [5]. Далее были рассмотрены два варианта запуска скрипта: внедрение подпрограммы для запуска скрипта на ПЛК, запуск скрипта – по нажатию кнопки на интерфейсе. Первый вариант позволил решить проблему неполной отработки скриптов, вызываемых через интерфейс панели оператора.

### **Благодарности.**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00267, <https://rscf.ru/project/22-79-00267/>

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Сухоруков, С. И. Алгоритм обработки управляющей программы роботизированного комплекса трехмерной печати металлами / С. И. Сухоруков, Н. С. Шушарин, Н. Р. Сбитнев // 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. 84-89. – EDN YXTYMT.
2. Сухоруков, С. И. Один из вариантов структуры роботизированного комплекса трехмерной печати металлических изделий / С. И. Сухоруков, А. Р. Овсянников // 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. 95-98. – EDN XXHQLZ.
3. Котов, Е. В. 3D-печать как революционная технология неоиндустриальной модернизации экономики / Е. В. Котов, В. И. Ляшенко // Вестник экономической науки Украины. – 2014. – № 1(25). – С. 59-69. – EDN SDHYTD.
4. Кабалдин, Ю. Г. Трехмерная печать методом электродуговой наплавки плавящимся электродом при производстве деталей из металлов на станках с ЧПУ / Ю. Г. Кабалдин, П. В. Колчин // Science XXI century : Proceedings of materials the international scientific conference, Karlovy Vary - Moscow, 30–31 июля 2015 года. – Karlovy Vary Moscow: Международный центр научно-исследовательских проектов, 2015. – С. 56-61. – EDN UJQKRR.
5. Гнедин, П. А. Особенности контроллеров Simatic S7-1500 фирмы Siemens / П. А. Гнедин // Автоматика и программная инженерия. – 2019. – № 3(29). – С. 22-25. – EDN NTSYBW.

УДК 64.061.6

Яненко Александр Владимирович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Yanenko Alexander Vladimirovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Соловьёв Вячеслав Алексеевич, профессор, доктор технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Solovyov Vyacheslav Alekseevich, professor, doctor of technical sciences, Komsomolsk-na-Amure State University

## **О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СМАРТ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ «УМНОГО ДОМА»**

### **ABOUT THE POSSIBILITIES OF USING SMART SOFTWARE APPLICATIONS FOR A “SMART HOME”**

Аннотация. В данной статье рассмотрены возможности и способы управление дистанционным способом «умным домом» с помощью смартфона. Проведён анализ используемых приложений и технического оборудования для них. Описаны проблемы и недостатки связанные с несовместимостью приложений и источников управления. Приведены сравнения на 2023г.

Abstract. This article discusses the possibilities and methods of remote control of a “smart home” using a smartphone. An analysis of the use of applications and technical equipment for them is presented. Problems and shortcomings associated with incompatibility between applications and control sources are described. A comparison is provided for 2023.

Ключевые слова: смартфон, управление, приложение, «умный дом»

Keywords: smartphone, control, application, “smart home”

#### **Введение**

В течение последних несколько десятилетий идёт постоянное совершенствование устройств и средств, облегчающих нашу жизнь. Расширяются функциональные возможности стиральных машин, систем поддержания климата в помещениях, систем доступа в помещение и т.д. Отличительной чертой сегодняшнего дня является все более широкое применение IT –технологий в бытовой сфере.

Отмеченный тренд с одной стороны влечёт за собой улучшение качества нашей жизни, с другой стороны возрастает нагрузка на энергопотребление. Кроме того увеличение количества устройств, повышающих комфортность нашего существования требует дополнительных затрат на их обслуживание и содержание.

Для снижения энергопотребления в последние годы электроприборы бытового назначения стали выпускаться с различными классами энергоэффективности, и с наделением этих устройств программируемыми функциями управления, регулирующими режимы работы. Данный функционал эффективен только в статическом режиме отвечающей заранее составленной программе. Дальнейшее расширение функциональных возможностей таких устройств привело к внедрению в систему управления этими устройствами принципа удалённого доступа. Реализация удалённого доступа, как правило, осуществляется на базе неотъемлемого атрибута сегодняшнего времени – смартфона. Такой подход позволяет осуществлять управление бытовыми приборами, как в статическом, так и в динамическом режиме и реализовать возможности системного управления комплексом устройств.

#### **Основная часть**

Данная задача связана с разрешением нескольких противоречий, связанных с разнообразием средств управления (смартфонов, планшетов), программных платформ этих устройств, не совместимость заложенных в бытовые устройства программных средств с набором имеющихся приложений.

Проанализируем современное состояние вопроса с точки зрения использования выше указанных атрибутов при реализации систем управления устройствами «умного дома».

По состоянию на начало 2023 года количество ввозимых брендов смартфонов разных производителей на территорию Российской Федерации имеет разное значение. Больше количество занимаемого ввоза в РФ составляют бренды китайских производителей, таких как: Xiaomi, Huawei, Honor, Realme и т.д. Средняя доля рынка ввозимых смартфонов показана на графике (рисунок 1) [1].

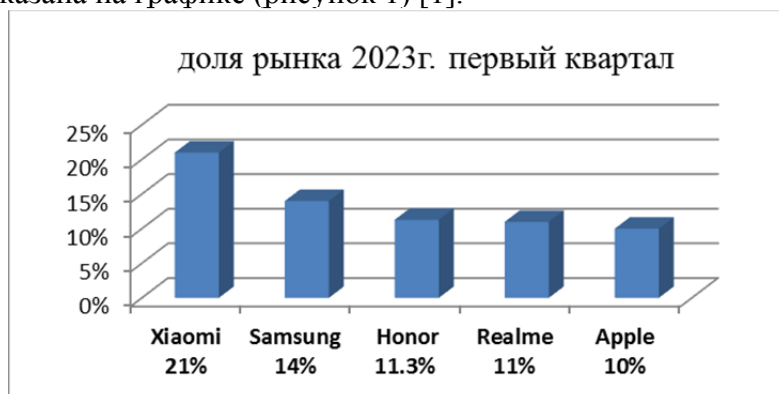


Рисунок 1 – Средняя доля рынка ввозимых смартфонов

Следует отметить, что количество используемых устройств очень сильно отличается от ввозимых. За предыдущий год лидирующим производителем смартфонов является Южно Корейская компания SAMSUNG, чьи устройства активно используются на территории РФ. На рисунке 2 наглядно отображена эта ситуация.

С другой стороны, список используемых аппаратов для управления «умным домом» не так уж и разнообразен. К ним относятся: смартфоны, планшеты, персональный компьютер и еще ряд устройств. Основными требованиями к использованию этих устройств для управления функционалами «умного дома», являются доступ к беспроводному интернету и совместимое приложение для контроля и управления входящих объектов в область управления.

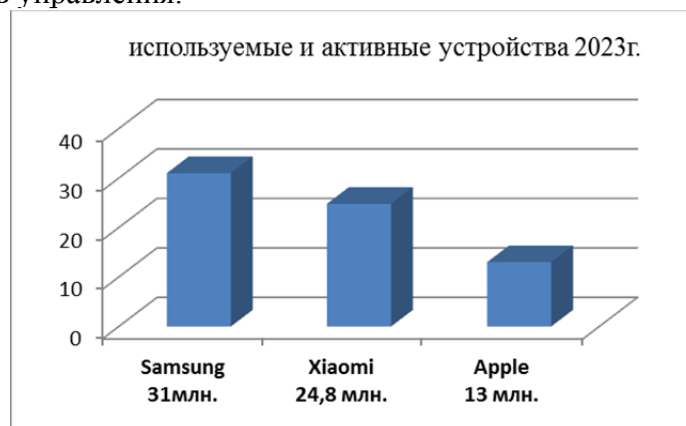


Рисунок 2 – Долевое участие используемых смартфонов

Вместе с тем необходимо отметить, что существует ряд проблем, таких как совместимость управляемых приборов, с имеющимися приложениями, трудности, вызванные скоростью интернета или потерей такого, которые напрямую зависят от скорости реакции оборудования используемое в умном доме. К примеру, не своевременная реакция на протечку воды или утечки газа может привести к печальным последствиям. Так же к задержкам сигнала нужно отнести региональность производителя, где не редко передача сигнала осуществляется не напрямую по региону установки умного дома, а через регион производителя.

К основному недостатку следует отнести закрытое программное обеспечение, где нет возможности в приложении одного производителя подключить приборы другого. Из-за несовместимости, приходится устанавливать несколько приложений на один смарт аппарат, что затрудняет управление умным домом. И ряд замечаний, относящихся к используемым операционным платформам.

Существует две операционные системы для смартфонов под которыми работают приложения управления [2-5]. К ним относятся: ANDROID и IOS. Основными и часто используемые приложения в системе Android являются:

1 - Умный дом Яндекс с Алисой (к системе легко подключить устройства многих брендов: Яндекс, Yeelight, Xiaomi, Philips, Redmond, Rubetek, Samsung и другие).

2 - СБЕР Салют (Благодаря виртуальному ассистенту Салют вы можете организовать удаленное управление устройствами, а именно: добавлять и настраивать умные устройства от SberDevices; управлять умными устройствами экосистемы прямо со смартфона).

3 - Умный дом от МТС с голосовым помощником Марвин.

4 - Google Home.

5 - Olisto.

Приложения для управления под операционной системой IOS:

1 - Apple HomeKit.

2 - Controller For HomeKit.

3 - MiMiSmart.

### **Заключение**

Анализ используемых приложений показывает, 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. Таким образом, приходится подбирать и использовать оборудование одной фирмы. Исключением является система управления с использованием искусственного интеллекта, но и то не всегда, так как существуют разные протоколы подключения.

На основании выше сказанного можно констатировать, что реализация систем управления функционалами «умного дома» представляет собой сложную инженерную задачу, влекущую за собой анализ и синтез целого ряда разноплановых решений.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. 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).

2. 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).

3. Приложения для умного дома на iOS / [Электронный ресурс] // mmsmart : [сайт]. — URL: <https://mmsmart.ru/oborudovanie/prilozheniya/dlya-iphone/> (дата обращения: 02.04.2024).

4. 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).

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**  
**ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**  
**И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА**



## **АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ**

### **ANALYSIS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF RECIPROCATING ELECTRIC DRIVES**

Аннотация. В статье рассматривается важность использования электропривода в различных отраслях и сферах. Приведен анализ информации о существующих системах электропривода возвратно-поступательного движения на базе электромеханических преобразователей. Перечислены основные преимущества привода типа возвратно-поступательного движения. Дается характеристика электропривода колебательного движения и их преимущество.

Abstract. The article discusses the importance of using electric drives in various industries and areas. An analysis of information about existing reciprocating electric drive systems based on electromechanical converters is presented. The main advantages of a reciprocating type drive are listed. The characteristics of the electric drive of oscillatory motion and their advantage are given.

Ключевые слова: электропривод, анализ, развитие, возвратно-поступательного движения, колебательного движения.

Key words: electric drive, analysis, development, reciprocating motion, oscillatory motion.

#### **Введение**

Электропривода являются одним из основных компонентов автоматизированных систем управления при реализации различных технологических процессов в промышленности, на транспорте, сельском хозяйстве. О широком использовании электропривода, используемого в качестве управляемого преобразователя электрической мощности в механическую, говорит тот факт, что в современной промышленности на них приходится до 60 % всей потребляемой электроэнергии [1]. Электропривода используют в различных отраслях промышленности и бытовых сферах, преимущества которых делают их востребованными и перспективными решениями в современном мире прирастающим спросом на их применения [5].

Актуальность исследования подтверждается анализом информации о существующих системах электропривода возвратно-поступательного движения на базе электромеханических преобразователей, показывающей заинтересованность производителей и потребителей энергетического оборудования в его дальнейшей модернизации и совершенствовании с целью улучшения технико-экономических характеристик.

#### **Основная часть**

Электропривод представляет собой инновационную и весьма перспективную технологию, которая приносит множество преимуществ в различных сферах деятельности. В настоящее время широко используется электропривода возвратно-поступательного движения [1].

Преимущества возвратно-поступательных электроприводов и их применение выделяются уникальностью и широтой. С начала, отмечается, что возможность точного позиционирования и управления процессом вибрации обеспечивает эффективную работу в сложных условиях со строгим координатным контролем. Эти характеристики делают электроприводы ключевыми инструментами для выполнения задач, требующих высокой прецизионности. Можно подчеркнуть, что минимизация числа движущихся компонентов способствует сокращению износа и увеличению срока службы, тем самым повышая надежность этих систем [4].

Следует подчеркнуть, что настройка частоты и амплитуды колебаний обеспечивает высокую адаптивность под специфические требования задачи. Также важной характеристикой является высокая эффективность данного типа приводов, чему способствует минимизация

ция энергетических потерь в процессе работы. Упрощенное техническое обслуживание и интуитивное программное управление значительно облегчают эксплуатацию устройств [4].

В контексте применения, колебательное движение, генерируемое данными приводами, найдет свое применение в многочисленных отраслях – от промышленного производства до медицинских услуг. В промышленности важным является использование таких рабочих инструментов для выполнения работ с высокой точностью, включая сверление, шлифовку и резку. Это способствует увеличению качества и производительности производственных процессов [2].

Таким образом, универсальность и эффективность электроприводов колебательного движения делают их незаменимым инструментом в многообразии областей применения, принося значительные преимущества, такие как улучшение производительности, точности и надежности в выполнении требуемых процессов.

В мире современных технологий и науки, вибрационное движение открыло перед индустрией новые возможности, эффектно демонстрируя свою универсальность и необходимость в широком спектре направлений, от автомобильной промышленности до мира искусства. Особенно в автомобилестроении вибрации используются для усовершенствования производительности моторов и систем охлаждения, а также в электронике для обеспечения функциональности разнообразных приборов. В искусстве же подобные движения могут создавать неповторимые аудио и визуальные эффекты.

Эффективность и многофункциональность вибрационных движений подтверждают их широкое распространение в различных сферах деятельности, делая незаменимым инструментом для улучшения качества и повышения производительности рабочих процессов. В сценариях, когда системам приходится работать с переменной жёсткостью — например, в ответ на изменения температуры, напряжения или нагрузки — вибрационное движение выступает ключевым элементом, обеспечивающим стабильность и оптимальное функционирование электродвигателей [2].

Однако следует учесть, что периодические колебательные процессы могут играть как положительную, так и отрицательную роль, в зависимости от требований проекта. Таким образом, для достижения оптимального баланса между стабильностью и производительностью задействуется целый арсенал технических и теоретических приемов, позволяющих наилучшим образом настроить работу электромоторов [6].

Управление вибрационными процессами в контексте переменной жёсткости представляет собой комплексную задачу, требующую от специалистов применения инновационных подходов и глубоких знаний в области математики и инженерии. Несмотря на вызовы, адекватное регулирование колебательных процессов служит гарантом высокой исполнительной способности и надежности электродвигателей в разнообразных эксплуатационных режимах [3].

В сфере современной промышленности и быта, электроприводы, осуществляющие превращение электрической энергии в механическую силу, представляют собой критически важные компоненты. В частности, вращательно-поступательные электродвигатели выделяются как широко распространенные устройства, превосходящие по спектру применений многие другие технологии. Эти устройства могут осуществлять как вращательное, так и поступательное движение, что их делает незаменимыми в разноплановых системах и механизмах, требующих перемещения по определенной траектории [4].

Существует многообразие конструкций вращательно-поступательных электродвигателей, каждая из которых имеет свое специфическое применение. К примеру, линейные электродвигатели, способные обеспечивать прямолинейное движение без необходимости в механических трансмиссиях, а также роторные устройства с штыревым перемещением, объединяющие в себе возможности поступательных и вращательных движений, занимают важное место в инженерной практике.

Прикладные области вращательно-поступательных электродвигателей варьируются от робототехники и автоматизации производственных процессов до медицинского оборудования и бытовых приборов. Их высокая точность позиционирования, оператив-

ность в отклике и возможность регулировки делают их фундаментальными элементами для множества сложных систем [6].

### **Заключение**

Значимость данной области подчеркивается активным интересом производителей и потребителей к модернизации и совершенствованию систем электропривода возвратно-поступательного действия. Анализ существующих разработок в этой области указывает на стремление к улучшению технико-экономических показателей электромеханических преобразователей, подтверждая актуальность и важность исследований в данной области [7].

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Онищенко, Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов / Г. Б. Онищенко. – М. РАСХН, 2003. – 320 с.: ил. ISBN 5-85941-045-X
2. Луковников, В.И. Электропривод колебательного движения / В.И. Луковников. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
3. Луковников, В.И. Динамические режимы работы асинхронного электропривода / В.И. Луковников, В.П. Серeda. – М.: Изд-во ВЗПИ, 1990. – 211 с.
4. Луковников, В.И. Электромашинный безредукторный колебательный электропривод / В.И. Луковников. – Электромеханическая промышленность. Электропривод, 1980, вып. 8(88), с. 14-18.
5. ГОСТ Р 50369-92 Государственный стандарт Российской Федерации электроприводы. Термины и определения.
6. 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. Серия «Науки о природе и технике», №1 (73) 2024. – С. 47-58. ISSN: 2076-4359 eISSN: 2222-5218.
7. Азимов, Х.Х. Алгоритмические основы исследования электромагнитных процессов в электроприводе герметичной задвижки / Х.Х. Азимов, К.К. Ким, С.Н. Иванов // Российская Арктика. 2024. Т. 6. № 1. С. 14-25. <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-14-25>.

УДК 620.92

Борисов Максим Игоревич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Borisov Maxim Igorevich, student of 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 the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

### **ПРИМЕНЕНИЕ КАСКАДНЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ**

#### **APPLICATION OF CASCADE WIND POWER PLANTS FOR DECENTRALIZED CONSUMERS**

Аннотация. Материал статьи направлен на оценку строительства ветроэнергетических установок в местах с децентрализованным электроснабжением, оценку и анализ существующих технических решений с указанием их достоинств и недостатков. Было предложено решение позволяющее повысить эффективность работы ветроэлектростанции.  
Abstract. The article is aimed at assessing the construction of wind power plants in places with decentralized power supply, assessing and analyzing existing technical solutions, indicating their advantages and disadvantages. A solution was proposed to improve the efficiency of the wind power plant.

Ключевые слова: ветроэнергетика, возобновляемые источники энергии, ветрогенераторы.  
Key words: wind energy, renewable energy sources, wind turbines.

## Введение

Россия - одна из крупнейших стран в мире, обладающая обширными территориями с разными климатическими условиями и большим количеством зон с отсутствием электроснабжения от центральной сети - рисунок 1. В связи с этим у потребителя возникают трудности в налаживании энергоснабжения.

## Основная часть



Рисунок 1- карта зон электроснабжения РФ



Рисунок 2 - Солнечная электростанция

Существует несколько вариантов путей решения данной проблемы основанных на применении возобновляемых источников электроэнергии: применение солнечных, гидро- и ветроэлектростанций [4].

Недостатками применения солнечных электростанций (рисунок 2) является их зависимость от погодных условий, количества солнечных дней в году и необходимость в наличии большой площади для размещения панелей генерирующих электроэнергию [1].



Рисунок 2 - Солнечная электростанция



Рисунок 4 - Ветроэлектростанция

Гидроэлектростанции ( рисунок 3 ) являются сложными в строительстве, и, вследствие этого, дорогостоящими сооружениями, влияющими на уровень воды в реках. Так же для использования гидроэлектростанций потребителю необходимо находиться в непосредственной близости к реке, что не всегда возможно ввиду расположения на местности.

Недостатками ветроэлектростанций (рисунок 4) являются: шум, вибрация, непостоянство генерирования энергии ввиду изменения или отсутствия потоков ветра, вероятность повреждения лопастей ветроустановки при сильном ветре или грозе [5].

Эти недостатки можно считать не существенными ввиду их несложной компенсации за счёт проведения своевременного техобслуживания ветроэнергетических установок (ВЭУ) [2].

Существенным плюсом является снижение зависимости потребителя от использования природного топлива, что в свою очередь снижает затраты на его закупку и транспортировку. К достоинствам ВЭУ отнесем скорость и дешевизну установки, её компактность относительно солнечных и гидроэлектростанций. ВЭУ практически не влияет на окружающую среду, что также является достоинством [3].

## **Заключение**

Для повышения эффективности работы ветроэлектростанций и снижения затрат предлагается устанавливать ВЭУ в порядке очереди достижения их срока окупаемости, впоследствии объединяя в каскад. Также каскадное размещение ВЭУ положительно скажется на качестве электроэнергии и надёжности системы в целом.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Децентрализованные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие/ Б.В.Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 100 с
2. Фатеев Е. М., Ветро двигатели и ветроустановки, 2 изд., М., 1957; его же, Ветросиловые установки, М., 1959; Шефтер Я. И. и Рождественский И. В., Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты, М., 1967.
3. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. -187с.
4. Энергия солнца и ветра [Электронный ресурс]: Электронная библиотека - Режим доступа: <http://mig-energo.ru/diod/>, свободный, (дата обращения 25.01.2024).
5. Электромеханические системы: учебн. пособие для вузов / Б. Р.Липай, А. Н. Соломин, П. А Тыричев; под редакцией С. И Маслова. — 2-е изд., стер—М.: Издательский дом МЭИ, 2011.—351с.

УДК 620.92

Бутко Владимир Павлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Butko Vladimir Pavlovich, 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

## **ВАРИАНТЫ КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ РОТОРА ДУГОСТАТОРНОГО ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА**

### **OPTIONS FOR THE DESIGN OF MOUNTING THE TOOTH ZONE OF THE ROTOR OF AN ARC-STATOR INDUCTOR GENERATOR**

Аннотация. В данной работе была рассмотрена микроГЭС на базе дугостаторного индукторного генератора и особенности ее конструкции. Был произведен анализ нескольких возможных вариантов крепления зубцов ротора на обод колеса гидротурбины. Было предложено несколько решений, которые могут удешевить и упростить конструкцию микроГЭС.

Abstract. In this paper considers a microhydroelectric power station based on an arc-stator inductor generator and features of its design. An analysis was made of several possible options for attaching the rotor teeth to the rim of the hydraulic turbine wheel. Several solutions have been proposed that can reduce the cost and simplify the design of micro hydropower plants.

Ключевые слова: микроГЭС, зубцовая зона ротора, крепление  
Key words: microHPP, tooth zone of the rotor, fastening

## **Введение**

Для обеспечения электрической энергией потребителей в местах, удаленных от центральной энергосистемы, необходимо создать или предложить готовое устройство, которое может давать электрическую энергию без перебоев и затрат на топливо [1]. Дизельные и бензиновые генераторы, в данном плане, сильно уступают генераторам, ис-

пользующим энергию возобновляемых источников. Самым практичным решением, пусть и имеющим жесткую привязку к сезону эксплуатации, является бесплотинная микроГЭС, которая позволяет получать электроэнергию используя силу равнинных рек [2]. Она является экологичным источником электроэнергии и не требует топлива. Цель данной работы: рассмотреть и проанализировать возможные варианты конструкции крепления зубцовой зоны ротора бесплотинной микроГЭС для равнинных рек на базе дугостаторного индукторного генератора.

Задачи работы:

1. Описать конструкцию бесплотинной микроГЭС на основе индукторной электрической машины;
2. Предложить и рассмотреть конструкцию крепления зубцовой зоны ротора;
3. Предложить изменения, удешевляющие и упрощающие конструкцию.

### Основная часть

МикроГЭС (рисунок 1) состоит из следующих элементов: статор 1, колесо гидротурбины 2, совмещенное с зубцовой зоной ротора, понтон с поплавками 3, опора гидротурбины 4 [3].

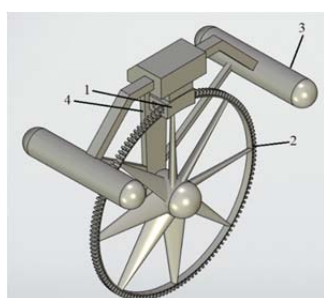


Рисунок 1 – МикроГЭС

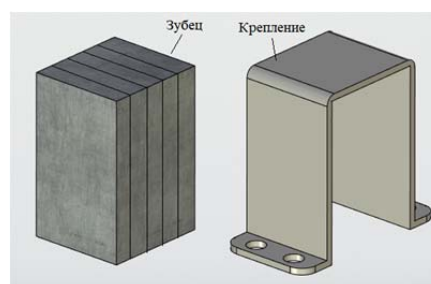


Рисунок 2 - Широкий вариант крепления зубцов

Зубцы ротора данной электрической машины имеют нестандартные вид и положение [4]. В связи с чем необходимо рассмотреть и предложить несколько вариантов креплений и провести их дальнейшее исследование. Сами крепления необходимо изготавливать из легких материалов, поскольку при большом количестве зубцов сильное увеличение массы отнимет такую характеристику как мобильность. Также они должны не нарушать магнитные характеристики генератора, то есть изготавливаться из непроводящих, немагнитных материалов, и быть устойчивыми к воздействиям окружающей среды [5]. Основой таких креплений могут быть различные виды пластика и композитные материалы.

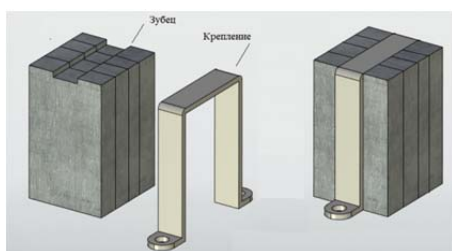


Рисунок 3 - Узкое крепление

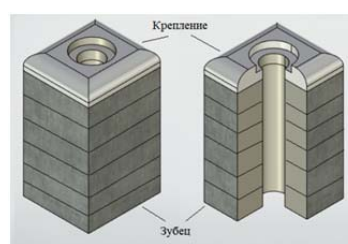


Рисунок 4 - Вариант крепления при перпендикулярной шихтовке

Варианты крепления зубцов ротора: с соответствием шихтовки статора и ротора (широкое и узкое крепления), перпендикулярно статору.

Варианты, представленные на рисунках 2 и 3 имеют шихтовку, со направленную с шихтовкой статора. Они являются стандартными для всех электрических машин и не требуют дополнительных исследований.

Данный вариант (рисунок 4) требует дополнительного исследования, поскольку неизвестно как повлияет смена направления шихтовки на магнитные характеристики [6]. Помимо этого, в зубце появляются зоны с магнитной проводимостью отличной от проводимости электротехнической стали, так как винт крепления изготавливается из другой стали, а также из-за наличия воздушных зазоров между зубцом и винтом крепления зубца. Для реализации этого варианта необходимо наличие заранее подготовленной площадки на ободу колеса, которая будет повторять форму зубца и не даст ему прокручиваться вокруг своей оси, в связи с чем нужно увеличивать высоту зубца.

#### **Заключение**

В работе была описана конструкция микроГЭС на основе индукторного генератора. Были представлены три варианта конструкции крепления зубцов ротора к ободу колеса гидротурбины. Два вида не требуют дополнительных исследований, но обладают повышенным, в сравнении с третьим, расходом ресурсов из-за необходимости размещения материала на три четверти периметра зубца. Третий же вариант обладает нехарактерной для стандартных машин шихтовкой, что может негативно повлиять на магнитные характеристики генератора и требует дальнейшего исследования. Также было предложено несколько доработок, позволяющих сохранить характеристики генератора на прежнем уровне, одной из них является использование немагнитных материалов в качестве креплений зубцов.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Алексюк, О.Э. Автономная энергетика для малого предприятия / О.Э. Алексюк, А.В. Янченко, Д.Д. Иванов // Актуальные вопросы энергетики. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Омск, 14–15 мая 2021 года. Омск: Омский государственный технический университет, 2021. – С. 51-54. – EDN: CXHNMF.
2. Бутко, В. П. Бесплотинная микроГЭС для равнинных рек / 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. 167-169.
3. Бутко, В. П. Конструкция и особенности проектирования бесплотинной микроГЭС на базе дугостаторного индукторного генератора / В. П. Бутко, Р. В. Кузьмин // 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. 300-302. – EDN TCGPPP.
4. Патент на полезную модель RU 10791 U1 Российская федерация, МПК F03D 1/00. Генератор для микроГЭС : № 98121288/20 : заявл. 23.11.1998 : опубл. 16.08.1999 / В.М. Кузьмин, Р.В. Кузьмин : заявитель Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет. – EDN: VTRGAA.
5. Сериков, А. В. Электромагнитные процессы в специальном силовом масляном трансформаторе / А. В. Сериков, В. В. Иванов // Актуальные вопросы энергетики : материалы Всеросс. науч. - технич. конф., Омск, 14–15 мая 2021 г. – Омск : ФГБОУ ВО «ОмГТУ», – 2021. – С. 117-120.
6. Мешков, А. С. Повышение энергетических характеристик электропривода малой мощности / А. С. Мешков, В. И. Суздорф // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2013. – № 4. – С. 37-43. – EDN RWXVVP.

УДК 621.313

Дружинин Владимир Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Druzhinin Vladimir Aleksandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Иванов Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры электромеханики, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ivanov Sergey Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЬДООБРАЗОВАНИЯ**

### **ELECTROMECHANICAL SYSTEM FOR REMOVING ICE FORMATION ELEMENTS**

Аннотация. Рассмотрена актуальность разработки электромеханической системы для удаления элементов льдообразования с карниза крыши. Показана структурная схема системы и описан принцип действия ее элементов. Более подробно рассмотрена система распознавания и формирования управляющего сигнала для электромеханического преобразователя.

Abstract. The relevance of developing an electromechanical system for removing ice formation elements from the roof eaves is considered. The block diagram of the system is shown and the principle of operation of its elements is described. The system for recognizing and generating a control signal for an electromechanical converter is considered in more detail.

Ключевые слова: электромеханический преобразователь, автоматизация, система распознавания, привод линейного перемещения.

Key words: electromechanical system, automation, recognition system, linear drive.

#### **Введение**

В весенний период, когда температура воздуха на улице колеблется около нуля, начинается активное таяние снега и льда, что приводит к образованию гололеда. В это время так же начинается «сезон сосулек», которые представляют наибольшую опасность в этот период. Из-за перепадов температур талая вода собирается на карнизах крыш и с ночным похолоданием появляются ледяные образования различных форм и размеров, свисающие с крыши. Дневное повышение температур создает угрозу отсоединения и обрушения льда на все, что находится на территории расположенной под крышей. По статистике из различных источников ежегодно по причине падения ледяных глыб страдают от 500 до 2000 человек по всему миру [1]. Ледяные образования наносят травмы и увечья, а иногда приводят к смерти. Ледяные образования также наносят материальный ущерб. При падении наледь способна пробивать козырьки и повреждать другие элементы фасада здания. Припаркованные вблизи крыш автомобили так же попадают в зону поражения (рисунок 1). По статистике страховой компании «Согласие» средняя выплата за упавшие на машины сосульки составила в 2022 году более 96 тысяч рублей, а наибольшее возмещение ущерба составляло 1,2 млн. рублей [2].

Для предотвращения возникновения вышеописанных случаев и повышения безопасности прилегающих к зданию территорий применяют различные средства. Как правило, жилищные компании отправляют своих сотрудников вручную убирать наледь, с помощью инструментов, либо просто огораживают опасные участки лентой в ожидании их естественного таяния. Кроме этого, на практике применяют автоматические средства, и наиболее распространенным из них является резистивный или саморегулирующийся греющие кабели, который не получили повсеместного распространения из-за высокой стоимости. Так же известны случаи возгорания по причине его неисправности. Исходя из этого, для решения проблемы льдообразования предлагается электромеханическая система для удаления льда.





Рисунок 6 – Пример нанесенного ущерба вследствие падения льда с крыши

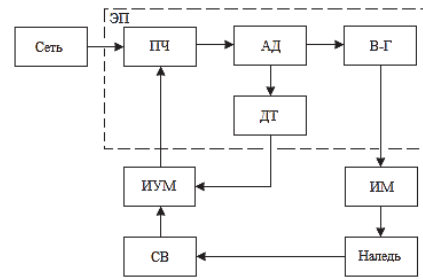


Рисунок 5 - Структурная схема электро-механической системы для удаления льда

### Основная часть

Структурная схема электро-механической системы для удаления льда представлена на рисунке 2.

Электро-механическая система для удаления льда позволит автоматически убирать наледь с карниза крыши, повысит безопасность территории вблизи здания и предотвратит нанесение наледью материального ущерба. Система работает следующим образом. При образовании наледи система видеонаблюдения (СВ) фиксирует ее в видеопотоке и отправляет его в информационно-управляющий модуль (ИУМ), где распознается наледь и формируется управляющий сигнал. Управляющий сигнал подается на электропривод, который состоит из преобразователя частоты (ПЧ), для изменения направления вращения двигателя, и электро-механического преобразователя линейного перемещения, который представляет собой асинхронный двигатель (АД) с измененной конструкцией вала. В отличие от стандартного электродвигателя электро-механический преобразователь линейного перемещения имеет в валу сквозное осевое отверстие, на части внутренней поверхности которого нанесена резьба. Через отверстие в валу проходит тяга на внешней поверхности которого так же имеется резьба. Таким образом между тягой и валом двигателя образовано резьбовое соединение «винт-гайка» (В-Г), которое, при вращении вала, позволяет тяге совершать осевые перемещения. Система имеет два электро-механических преобразователя подобной конструкции, что позволяет обеспечить линейное осевое перемещение тяги и препятствовать тангенциальному перемещению. Концы тяг двигателей жестко соединены с исполнительным механизмом (ИМ) в виде балки с профилем тавра, который при линейных перемещениях выдвигается из-под крыш и ломает наледь.

На случай аварийной ситуации, например, застопорения исполнительного механизма системы, предусмотрен датчик температуры (ДТ) для отключения системы и предотвращения перегрева двигателя и возникновения пожара.

Для обеспечения автоматической работы системы ее основным элементом является система распознавания, входящая в информационно-управляющий модуль. На рисунке 3 показана система распознавания.

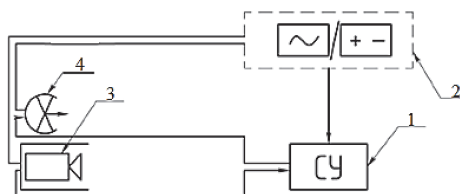


Рисунок 7 – Система распознавания электро-механической системы для удаления льда

Система распознавания работает следующим образом. Видеоинформация, поступающая с видеокамеры 3, анализируется с использованием идентификации для формирования управляющего сигнала. Параметры сосульки, зафиксированной камерой, сравниваются с заранее заданными значениями, внесенными в базу данных системы управления 1. Далее результат обработки полученной информации и информации, хранящейся в базе данных команд системы управления, формируется в

управляющую команду для электромеханического преобразователя. В зависимости от сформированной команды на электромеханический преобразователь подается напряжение от источника питания 2. Для повышения эффективности контроля над процессом образования сосулек в условиях недостаточной видимости предусмотрено управляемое осветительное устройство 4.

#### **Заключение**

Представленная в статье система распознавания позволит создать автоматическую систему льдоудаления, которая способна автоматически, без участия человека, удалять наледь с карниза крыши и тем самым обезопасить прилегающие к зданиям и сооружениям территории в периоды образования наледи. Так же была рассмотрена конструкция и принцип действия самой системы для удаления льда. Примерная стоимость системы составляет 55 тыс. рублей, что значительно меньше чем ущерб, который способна нанести наледь. Более подробное рассмотрение системы, а также обоснование мощности электромеханического преобразователя и выбор элементов системы описаны в работах [3, 4, 5].

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Om1.ru: онлайн медиа: сайт. Омск, 2020. URL: <https://www.om1.ru/news/society/184858-cena-tragedii-dengi-omichejj-ukhodjat-ne-na-ochistku-krysh-ot-sosulek-a-na-shtrafy-za-to-cto-eh-to-ne-sdelano/> (дата обращения 22.03.2024).
2. Баршев. В. Средняя выплата по КАСКО / В. Баршев // Российская газета: интернет-портал. – 2023. 28 марта. URL: <https://rg.ru/2023/03/28/sredniaia-vyplata-po-kasko-za-upavshie-na-mashiny-sosulki-sostavila-v-2022-godu-70-tysiach-rublej.html> (дата обращения 22.03.2024).
3. Дружинин, В.А. Разработка электромеханической системы с резкопеременной нагрузкой / В.А. Дружинин, Х.Х. Азимов, И.К. Андрианов, М.Б. Колесник, С.Н. Иванов // Ученые записки КнАГТУ – 2024. – № I (73). – С.47-58.
4. Дружинин, В. А. Моделирование напряжений в элементах льдообразования при механическом нагружении / К. К. Ким, С. Н. Иванов, В. А. Дружинин, Я. Е. Шевченко, Х. Х. Азимов // Ученые записки КнАГТУ – 2023. – № III (67). – С.70-77.
5. Дружинин, В. А. Электромеханическое устройство для очистки крыши от сосулек / В. А. Дружинин, С. И. Сухоруков, С. Н. Иванов // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению : Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых. В 2-х частях. Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.) [и др.]. Комсомольск-на-Амуре, 2023. – С. 177-180.

УДК 621.313.17:519.87

Ескина Ирина Алексеевна, студент, Ростовский государственный университет путей сообщения

Eskina Irina Alekseevna, Student, Rostov State Transport University

Шевкунова Анастасия Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Ростовский государственный университет путей сообщения

Shevkunova Anastasiya Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Rostov State Transport University

#### **ОБЗОР МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

#### **OVERVIEW OF METHODS FOR REDUCING TORQUE PULSATIONS OF A SWITCHED RELUCTANCE MOTOR**

Аннотация. Предметом данного исследования является обзор методов решения проблемы минимизации пульсаций момента вентильно-индукторного двигателя. Наиболее подробно рассмотрены варианты конструктивных решений проектирования активной

части. Изготовление магнитопроводов по рассчитанной оптимальной геометрии не усложняет технологию изготовления, не приводит к дополнительным затратам, а повышает эффективность и надежность работы.

Abstract. The subject of this study is a review of methods for solving the problem of minimizing moment pulsations of a switched reluctance motor. The variants of constructive solutions for designing the active part are considered in the most detail. The manufacture of magnetic circuits according to the calculated optimal geometry does not complicate the manufacturing technology, does not lead to additional costs, but increases the efficiency and reliability of operation.

Ключевые слова: вентильно-индукторный двигатель, магнитопровод, пульсации, электромагнитный момент, методы снижения.

Key words: switched reluctance motor, magnetic circuit, pulsations, electromagnetic torque, reduction methods.

## **Введение**

Развитие новых типов электрических машин таких как вентильно-индукторные (ВИМ), непосредственно связано с достижениями в области силовой электроники и материаловедении. За рубежом ВИМ занимают достаточно крепкую позицию в производственных программах электромашиностроительных компаний. Данное явление объясняется наличием множества преимуществ по сравнению с традиционными машинами переменного тока [1]. Однако, как и у всех электромеханических преобразователей энергии, ВИМ имеет свои недостатки, вызванные особенностью конструктивного исполнения и управления, такие как повышенный уровень акустического шума, возникающий в результате радиальной вибрации и пульсаций крутящего момента.

Специфичность конструкции магнитопровода ВИМ заключается в явной выраженности и малом количестве зубцов, а работы – в поддержании равномерности вращения исполнительного механизма рабочего органа в зоне малых скоростей. Ввиду перечисленных свойств, проблема целевого применения ВИМ в настоящее время существует. Решение данной проблемы возможно. Оно должно основываться на взаимосвязи всех составляющих показателей электродвигателя.

В данной статье проведем обзор известных подходов к решению задачи минимизации пульсаций электромагнитного момента на валу ВИМ.

## **Основная часть**

Проведя анализ литературных источников, направленных на решение проблемы снижения пульсаций электромагнитного момента на валу ВИМ, способы минимизации данного явления можно разделить на следующие группы:

- увеличение числа фаз электродвигателя;
- применение специально разработанных алгоритмов управления [2];
- использование датчиков электромагнитного момента или частоты вращения;
- проектирование магнитопроводов ВИМ оптимальной формы.

Ввиду того, что все вышеперечисленные методы, за исключением последнего, являются достаточно затратными, основное внимание в данной статье уделено именно способу минимизации пульсаций электромагнитного момента посредством проектирование оптимальной формы зубцово-пазовой зоны машины.

Как правило, ВИМ проектируют с симметричными и равномерно распределенными по окружности полюсами статора и ротора. Однако, за последнее время учеными были разработаны конфигурации активной части машины с различным количеством полюсов статора и ротора. Известно, что соотношение зубцов статора и ротора ВИМ представляет собой дробь, у которой числитель – количество зубцов статора, знаменатель – ротора. Можно привести следующие примеры конфигурацией: трехфазные – 6/4, 6/8, 6/14, 12/8, 18/12; четырехфазные – 8/6, 8/10, 16/12, 24/18, 32/24; пятифазные – 10/4, 10/6, 10/8, 10/12; известны также ВИМ в шестифазном и семифазном исполнении [3].

Такое разнообразие конфигураций ВИД объясняется желанием исследователей найти компромисс между малыми значениями пульсаций и высоким крутящим моментом. Например, в работе [4] показано, что при большем количестве зубцов ротора относительно статора, геометрия магнитопровода может обеспечить меньшую пульсацию крутящего момента в ненасыщенном состоянии. Однако в состоянии насыщения пульсации электромагнитного момента возрастают по сравнению с конфигурацией ВИД 6/4. Компромисс заключается в выборе оптимального количества фаз двигателя.

Перспективным направлением является проектирование оптимальной геометрии формы зубцов статора и/или ротора [5, 6] (рис. 1).

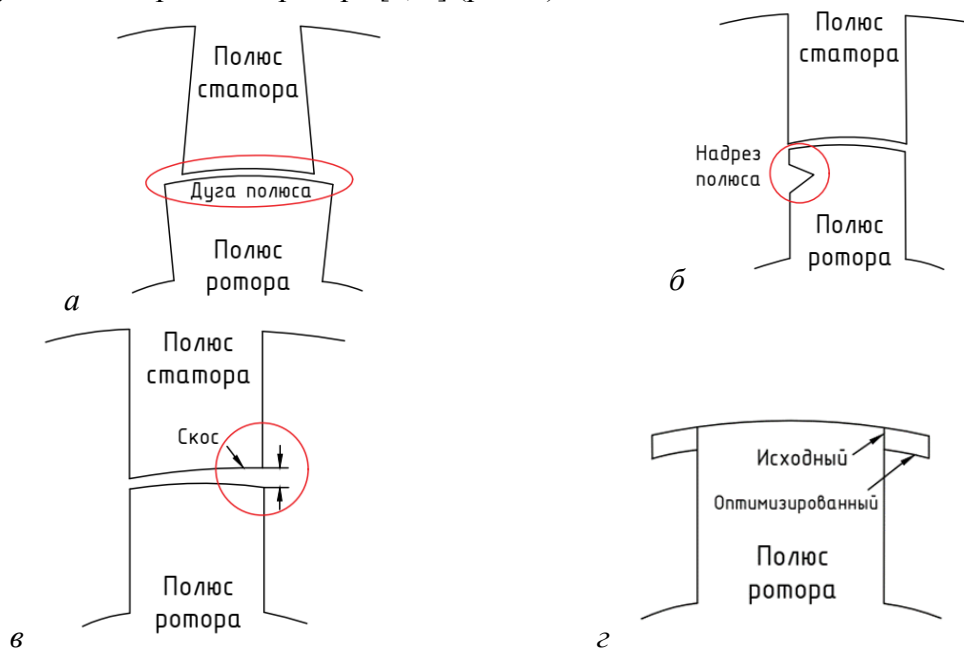


Рисунок 1 – Варианты форм зубцов статора и ротора ВИМ

Первым вариантом является изменение форм полюсных дуг статора и ротора (рис. 1, а). Научно доказано, что при верном подборе геометрии значение среднего электромагнитного момента увеличивается, а пульсации уменьшаются [3]. Также существуют публикации, в которых описано проектирование геометрии полюса ротора с надрезами (рис. 1, б). По сравнению со стандартной формой полюсов, данное конструктивное решение позволяет снизить пульсации момента на 4,6 %.

Третьим вариантом изменения формы зубцов является наклонная поверхность коронок статора и ротора (рис. 1, в). Объяснить такое решение можно следующим образом: скос полюса статора дает уменьшение воздушного зазора, когда полюс ротора приближается к согласованному положению, а скос зубца ротора – воздушный зазор увеличивается, когда полюса начинают перекрываться. Данная конструкция была применена для конфигурации ВИМ 8/6. Еще одним вариантом решения проблемы повышенного уровня пульсаций крутящего момента является применение полюсного «башмака», прикрепляемого к боковой поверхности ротора (рис. 1, з).

Учеными «Ростовского государственного университета путей сообщения» ведется активная работа в области повышения энергоэффективности и надежности работы электрических машин вентильно-индукторного типа. Помимо выше представленных вариантов изменения форм зубцов, был спроектирован и изготовлен двигатель 6/4 с криволинейной формой зубца ротора с помощью оптимизационных алгоритмов [7]. Доказано, что скос зубцов ротора способствует снижению пульсаций электромагнитного момента более чем на 50 % при сохранении среднего значения крутящего момента.

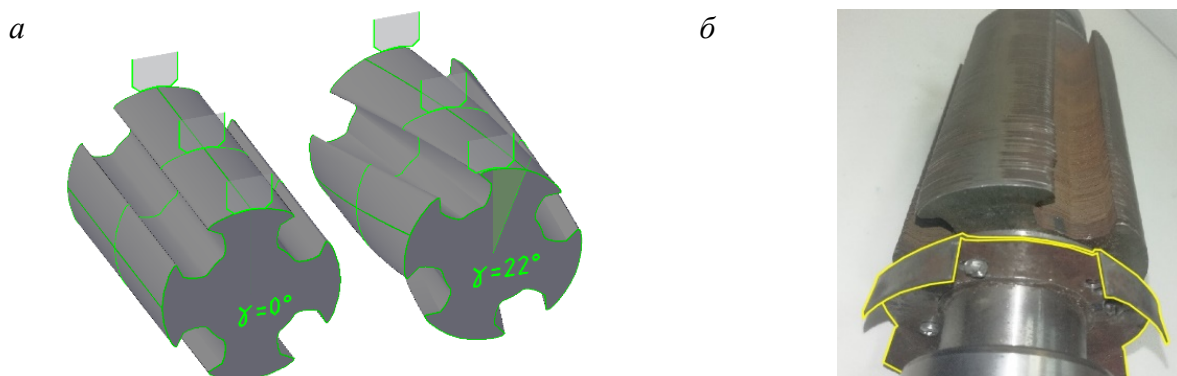


Рисунок 2 – Ротор с криволинейной формой зубца

### Заключение

Резюмируя представленный материал, можно сделать вывод о целесообразности проектирования активной части ВИД посредством оптимизационных алгоритмов. В результате такого расчета будет получена оптимальная геометрия магнитопровода, обеспечивающая эффективную работу электродвигателя.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, К.А. преимущества и недостатки современного ВИП / К.А. Иванов // Форум молодых ученых. – 2018. – №1 (17). – С. 466-468.
2. Карнаухов, Н.Ф. Обзор подходов к снижению пульсаций электромагнитного момента вентильно-индукторного двигателя методами математического моделирования / Н.Ф. Карнаухов, М.Н. Филимонов, Д.А. Статовой, А.С. Лыков // Вестник Донского государственного технического университета. – 2016. – №2 (85). – С. 51-58.
3. Gan, C. A Review on Machine Topologies and Control Techniques for Low-Noise Switched Reluctance Motors in Electric Vehicle Applications / C. Gan, J. Wu, Q. Sun [and et.] // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – Pp. 31430-31443. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2837111
4. Novel switched reluctance machine configuration with higher number of rotor poles than stator poles: Concept to implementation / P. C. Desai, M. Krishnamurthy, N. Schofield, A. Emadi // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2010. – Vol. 57, no. 2. – Pp. 649-659.
5. Чавычалов, М.В. Оптимизация формы зубца ротора вентильно-индукторной электрической машины / М.В. Чавычалов, А.В. Шевкунова, Н.М. Яицкова // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2023. – № 4. – С. 119-126.
6. Kashuba, A.V. Reduction of pulsations of the electromagnetic moment of the switched reluctance electric motor / A.V. Kashuba, A.V. Shevkunova // В сборнике: Proceedings - 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022. – 2022. – С. 461-466.
7. Petrushin, A.D. Improvement of Switched Reluctance Motor Performance Using Optimization Algorithms / A.D. Petrushin, A.V. Kashuba // 2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018 - Conference Proceedings. DOI: 10.1109/ICEPDS.2018.8571756

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

### USING A POWER TRANSFORMER TO REDUCE TECHNOLOGICAL LOSSES OF TRANSFORMER SUBSTATIONS

Аннотация. Рассмотрена проблема снижения технологических потерь трансформаторных подстанций. Приведены структура технологических потерь и их годовой объем. Предложено использовать тепловые потери силового трансформатора для частичной компенсации технологических потерь подстанции. Описаны особенности конструкции активной части предложенного трансформатора. Сформулированы требования к блоку утилизации тепла и к нагревательному контуру.

Abstract. The problem of reducing technological losses of transformer substations is considered. The structure of technological losses and their annual volume are given. It is proposed to use the thermal losses of the power transformer to partially compensate for the technological losses of the substation. The design features of the active part of the proposed transformer are described. The requirements for the heat recovery unit and the heating circuit are formulated.

Ключевые слова: силовой трансформатор, подстанция, технологические потери, нагревательный контур, блок утилизации тепла.

Key words: power transformer, substation, technological losses, heating circuit, heat recovery unit.

#### Введение

В современном мире невозможно представить область жизнедеятельности человека без использования электрической энергии. Передача электроэнергии на дальние расстояния наиболее экономически эффективна при высоких напряжениях, а потребление электроэнергии наиболее безопасно при высоких токах. Таким образом, возникла задача использования статических преобразователей электрической энергии – трансформаторов, которые в настоящее время широко используются в электрических сетях при передаче электроэнергии и в системах электроснабжения различных объектов (от крупных промышленных предприятий до небольших потребителей). Силовой трансформатор имеет достаточно высокое значение КПД. Но так как установленная мощность трансформаторного оборудования в 5-6 раз превышает установленную мощность генераторов на электростанциях, то суммарные потери достигают значительных величин.

Анализ распределения технологических потерь подстанции (рисунок 1) показал, что 351 млн кВт·ч/год идет на охлаждение силовых трансформаторов (работа вентиляторов, циркуляционных насосов и другого оборудования), 162 млн кВт·ч/год – на обогрев помещений и 135 млн кВт·ч/год – на обогрев оборудования [1]. Эти и другие технологические потери компенсируются потреблением электроэнергии. Таким образом, задача снижения технологических потерь трансформаторных подстанций является актуальной.

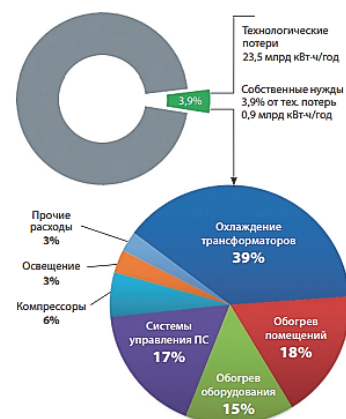


Рисунок 1 – Распределение технологических потерь на трансформаторных подстанциях

### Основная часть

На подстанциях широко используются силовые масляные трансформаторы. Несмотря на достаточно высокий коэффициент полезного действия при преобразовании электроэнергии в электрооборудовании появляются потери, абсолютная величина которых может достигать десятки киловатт в зависимости от мощности трансформатора. Так в трансформаторах мощностью 1000 кВА потери холостого хода составляют до 2 кВт, а потери короткого замыкания – 12 кВт [2]. Все потери отводятся с помощью трансформаторного масла и посредством системы охлаждения бесполезно рассеиваются в окружающую среду [3].

Для частичного использования этих потерь на собственные нужды трансформаторной подстанции в конструкции силового масляного трансформатора предлагается применять теплообменное оборудование в виде блока утилизации тепла [4, 5]. Для обеспечения требуемых температурных параметров теплоносителя, который протекает по этому блоку и осуществляет отбор тепла от нагретого трансформаторного масла, в конструкции имеется нагревательный контур (НК) 2 (рисунок 2), который состоит из электрического проводника, расположенного поверх силовых обмоток 1 вокруг стержня магнитопровода. В нем наводится электродвижущая сила (ЭДС). НК соединяется с тиристорным коммутатором 3, который по мере необходимости периодически включается. Под действием ЭДС по НК протекает ток, что приводит к дополнительному нагреву теплоносителя, который непосредственно омывает стенки НК.

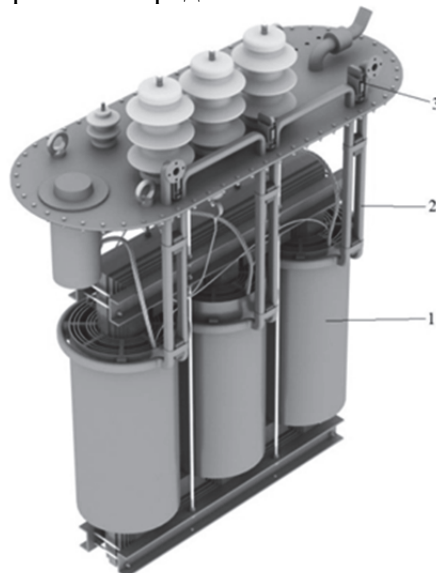


Рисунок 2 – Активная часть трансформатора:

- 1 – силовые обмотки; 2 – нагревательный контур блока утилизации тепла;  
3 – тиристорный коммутатор

При выборе конструкции НК и блока утилизации тепла необходимо учитывать ряд факторов:

- отвод тепла от НК должен производиться с достаточной эффективностью;
- расположение НК необходимо производить таким образом, чтобы вся его поверхность омывалась теплоносителем с постоянной скоростью с целью обеспечения равномерного теплообмена;
- форма и расположение НК должны удовлетворять требованиям по электро- и пожарной безопасности и требованиям ПУЭ;
- коммутационные процессы при включении и отключении НК не должны влиять на качество электроснабжения потребителей;
- в случае отсутствия регулирования отдаваемого тепла, влияние на температуру теплоносителя должно осуществляться путем регулирования потока теплоносителя че-

рез блок утилизации тепла. При этом, с целью предотвращения выхода из строя трансформатора, необходимо предусматривать дополнительные меры охлаждения активной части;

– с целью снижения потока рассеяния силовые обмотки и НК должны быть расположены концентрически на магнитопроводе трансформатора;

– желательно, чтобы конструкция блока утилизации тепла имела наибольшую площадь теплообмена с трансформаторным маслом, а НК имел большую площадь теплообмена с теплоносителем.

### **Заключение**

Таким образом, рассмотрена проблема полезного использования тепловых потерь трансформаторного оборудования на подстанциях. Предложено в конструкции силового масляного трансформатора использовать блок утилизации тепла с целью частичной компенсации технологических потерь подстанции. Сформулированы требования к нагревательному контуру и блоку утилизации, которые размещаются на активной части внутри бака силового масляного трансформатора.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Цыкунова, А. А. Оценка возможности использования систем утилизации тепла в силовых масляных трансформаторах / А. А. Цыкунова, А. В. Сериков // 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. 389-391. – EDN HABCDF.

2. Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под. ред. С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина. – М. : Энергоиздат, 2004. – 616 с.

3. Калачев, О. В. Вентиляция и охлаждение силовых трансформаторов с соблюдением правил промышленной безопасности в помещениях объектов электроэнергетики / О. В. Калачев, Л. Ю. Юдин // Промышленные и строительные технологии. – 2016. – № 6(8). – С. 4. – EDN VROGGF.

4. Совершенствование конструкции и повышение энергосберегающих свойств силового масляного трансформатора / И. И. Биленко, Н. А. Карпов, В. В. Иванов, А. В. Сериков // Электроэнергетические комплексы и системы: история, опыт, перспектива : Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 60-летию кафедры "Системы электроснабжения" и 100-летию плана ГОЭЛРО, Хабаровск, 19–20 ноября 2020 года / Под редакцией И.В. Игнатенко, С.А. Власенко. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 53-56. – EDN WFULLF.

5. 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. 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. 197-200. – EDN HIONBQ.



УДК 620.92

Исаев Максим Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Isaev Maxim Sergeevich, 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 ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ**

### **OPPORTUNITIES FOR USING SOLAR ENERGY IN KHABAROVSK KRAI**

Аннотация. В работе приводится информация о возможностях использования солнечной энергии. Рассмотрены различные виды преобразования солнечного излучения. Представлены установки, использующиеся в настоящее время. Проанализированы возможности использования солнечной энергии в Хабаровском Крае.

Abstract. The work provides information on the possibilities of using solar energy. Various types of solar radiation conversion are considered. The installations currently in use are presented. Analyzed possibilities of using solar energy in the Khabarovsk Krai.

Ключевые слова: солнечная энергия, излучение, КПД, коллектор, аккумуляирование  
Key words: solar energy, radiation, efficiency, collector, accumulation

#### **Введение**

На данный момент в России большая часть энергетики – традиционная. Но со временем происходит удорожание органического топлива. Это происходит, в первую очередь, из-за истощения существующих месторождений. И для того, чтобы подавать топливо в том же объеме, требуется либо углубляться в месторождение, что приводит к удорожанию добычи единицы топлива, а также в этом случае может ухудшаться качество топлива, либо необходимо транспортировать топливо из других источников. Следует также помнить, что многие котлоагрегаты рассчитаны на топливо с определенными свойствами, а это может привести к тому, что придется привозить топливо с дальних месторождений. Еще одна проблема традиционной энергетики – это экология. Ни для кого не секрет, что при сжигании топлива в атмосферу поступает огромное количество вредных выбросов. Использование же нетрадиционной энергетики, напротив, более безопасно для природы. Конечно, производство и утилизация оборудования всё еще довольно вредны, но технологии развиваются каждый день. Существует также проблема невозможности или нерентабельности подведения тепломагистрали к отдаленным от ТЭЦ домам. В таких случаях использование возобновляемых источников энергии довольно выгодно. Поэтому важно задумываться о замене традиционных систем электро- и теплоснабжения на нетрадиционные [1,2].

#### **Основная часть**

Одним из перспективных направлений решения указанной выше проблемы является солнечная энергетика. В среднем, при учете ясных и пасмурных дней, в Хабаровске на 1 квадратный метр в год поступает около 6,4 ГДж солнечной энергии. Потенциал у этого направления весьма велик.

Солнечное излучение можно довольно просто преобразовать в тепловую, механическую и электрическую энергию. Установки, которые работают на солнечной энергии, используются в системах отопления жилых и промышленных зданий. Технологические процессы преобразования и использования солнечной энергии также различаются по сложности: от плоских нагревательных поверхностей до сложных систем управления для слежения за солнцем [3].

Существует множество технологических методов преобразования солнечного излучения в электрическую энергию. Наиболее активно разрабатываются и используются в настоящее время фотоэлектрические станции, использующие явление фотоэффекта. Суть

данного эффекта заключается в том, что фотоны выбивают электроны с поверхности объекта или из кристаллической решетки внутри полупроводника, и на границе пары металл-полупроводник возникает электродвижущая сила, порождающая или изменяющая электрический ток во внешней цепи, соединяющей эту пару. Такие установки имеют широкий диапазон мощностей, а КПД их в среднем составляет около 20 %, в зависимости от материалов и конструкции. Даже при такой низкой эффективности в год с 1 квадратного метра поверхности можно получить порядка 1,28 ГДж или 355,5 кВт · ч электроэнергии [4,5].

Главными недостатками солнечных фотоэлектрических станций являются:

- высокая цена фотоэлементов, преобразующих солнечное излучение в постоянный ток;
- использование инверторов, которые преобразуют постоянный ток в переменный ток, что снижает их эффективность;
- наличие аккумуляторных батарей, используемых как резервные источники и обеспечивающих непрерывное электроснабжение потребителей, значительно увеличивает стоимость солнечной электростанции.

Солнечные системы нагрева воды представляют собой резервуары для воды, поглощающие солнечное излучение. Плоские приёмники наиболее эффективны и могут использовать все составляющие солнечной радиации, а именно прямое, рассеянное и отраженное излучения. Сложные нагреватели могут нагревать определенное количество воды, которое затем может быть сохранено в специальных баках-аккумуляторах. Такой нагрев позволяет повысить эффективность установки и распределить нагрузку. Взаимодействие с ветром и землей значительно увеличивает потери тепла в системе, поэтому во избежание потерь стараются изолировать бак с нагретой водой от ветра и земли. В более сложных системах используется изоляция. КПД водонагревателей прямого нагрева составляет порядка 90%, и при таких данных можно получить в год с 1 квадратного метра поверхности 5,76 ГДж тепловой энергии, либо же данным объемом тепловой энергии, возможно, нагреть более 17000 литров воды с 20 до 100 °С на протяжении года[5].

Солнечный коллектор – является усложненной версией водонагревателя, который подходит для нагрева не только воды, но и других теплоносителей. В состав коллектора входят несколько незаменимых компонентов, к которым относятся корпус, теплоизоляция (для снижения потерь в окружающую среду), сам теплоноситель, а также трубки для него, теплопоглощающий материал, который будет аккумулировать тепло и одностороннее стекло. Также опциональным, но очень полезным является солнечный концентратор[5].

Последние несколько лет пользуются популярностью низкотемпературные плоские солнечные коллекторы. В таких устройствах возможно получить большое количество энергии, благодаря парниковому эффекту, возникающему в пространстве между прозрачным стеклом и теплоносителем. Сам процесс заключается в следующем: солнечные лучи проходят через стекло, которое обладает высокой пропускаемостью излучения в этом диапазоне длин волн; далее излучение воспринимается теплоносителем и тем самым он нагревается. Из-за нагрева теплоноситель также начинает интенсивнее излучать тепло, но уже в инфракрасном спектре, которое стекло уже практически не пропускает. Тем самым среда между стеклом и теплоносителем нагревается и температура может достигать порядка 160 °С.

Эффективность преобразования и аккумулирования энергии солнечным коллектором будет зависеть, в первую очередь, от эффективности теплоизоляции, показателя пропускания солнечного излучения стекла, эффективности поглощения тепла теплоносителем. В среднем, эффективность солнечных коллекторов колеблется в диапазоне от 50 до 80 %. Если принять КПД коллектора равным 65 %, то получается, что за год мы можем получить с 1 квадратного метра поверхности порядка 4,16 ГДж энергии[5].

Тепловую энергию, преобразованную из солнечной в тепловую, можно хранить с достаточно большим коэффициентом эффективности. Технология аккумулирования тепловой энергии может выглядеть следующим образом. Большой объем нагреваемого, а затем охлаждаемого вещества необходимо закрыть слоем теплоизолирующего материала. Нагреваемое и затем охлаждаемое вещество будет аккумулировать тепловую энергию. Внутри данного

вещества необходимо проложить трубы для транспортировки теплоносителя от аккумулирующего вещества к потребителю и от солнечного коллектора к аккумулирующему веществу. В неотапительный период теплоноситель будет идти только по контуру коллектор - аккумулятор и запасать энергию в аккумуляторе. В отопительный период теплоноситель будет двигаться еще и по второму контуру, то есть аккумулятор - потребитель. Такая система позволит постоянно запасать тепловую энергию, даже при отдаче её потребителю.

### **Заключение**

Таким образом, можно использовать солнечное излучение для отопления зданий в некоторые месяцы отопительного сезона. Например, в мае и апреле солнечное излучение довольно интенсивное, но при этом отопление ещё необходимо. Можно установить на крыше здания солнечный коллектор и концентраторы солнечного излучения, это позволит передавать тепло солнечного излучения теплоносителю, который будет циркулировать по отопительной системе и получать достаточно тепловой энергии для обогрева квартир. Такая система лучше покажет себя в более современных зданиях, которые спроектированы энергоэффективнее старых помещений. В таких домах временные рамки замещения использования традиционной энергетики солнечной значительно расширяются. Это позволит снизить нагрузку на ТЭЦ и соответственно потреблять меньше топлива, что благоприятно скажется как на экономике, так и на экологии.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Макаров, А.А. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина.- Москва: ИНЭИ РАН – Московская школа управления СКОЛКОВО, 2019. – 210 с.
2. Григораш, О.В. Автономные источники электроэнергии: Состояние и перспективы / О.А. Григораш, С.В. Божко, А.Ю. Попов и др.- Краснодар, 2012.- 174 с.
3. Лабейш, В.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учеб. пособие. - СПб.: СЗТУ, 2003.-79 с.
4. Твайделл, Дж., Уэйр, А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.: ил.
5. Федянин, В.Я. 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. – Режим доступа: URL: <http://mceor.ru/18007> (Дата обращения 12.03.2024)

УДК 621.313

Каландаров Нуруллох Мадазимович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kalandarov Nurullokh Madazimovich, 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

## **РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СКЛАДА**

## **DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM FOR AN AGRICULTURAL WAREHOUSE**

Аннотация. При удалённом расположении фермерских хозяйств надежное электроснабжение становится очень актуальным. В статье анализируется комплекс автономного электроснабжения сельскохозяйственного склада и приведено обоснование исполь-

зования альтернативных источников электроэнергии для заданного месторасположения сельскохозяйственного склада.

Abstract. With the remote location of farms, reliable power supply becomes very important. The paper presents an autonomous power supply system for an agricultural warehouse. The application of the main sources of renewable energy for a specific location of an agricultural warehouse is justified.

Ключевые слова: система электроснабжения, ветроустановка, фотопанели, возобновляемая энергия, аккумуляторные батареи

Key words: power supply system, wind turbine, photopanel, renewable energy, batteries

### **Введение**

В настоящее время из-за роста населения и стоимости продуктов в России стал возрождаться и имеет очень хорошие перспективы сельскохозяйственный бизнес. Этому способствует рост населения в мире в целом и увеличение экспорта российской сельхозпродукции за рубеж. Для эффективного развития такого бизнеса нужна соответствующая инфраструктура (объекты складирования продукции, гаражи, фермы, теплицы и т.д.) и ее энергообеспечение. Факторы удаленности сельхозпредприятий от энерго- центров с учетом аварийности на линиях электропередачи ставят задачу повышения надежности и автономности их энергообеспечения.

Рассмотрим обеспечение автономности электроснабжения сельскохозяйственного склада, расположенного недалеко от города Комсомольска-на- Амуре. Потребность склада в электроэнергии составляет примерно 60 кВт\*ч в сутки.

В качестве возобновляемых источников электроэнергии рассмотрим: ветроустановки (ВУ), гидроэлектрические станции (ГС) небольшой мощности и фотоэлектрические батареи (ФЭБ) [1,2,3].

Цель нашей работы: рассмотреть и определить возможные варианты электроснабжения сельскохозяйственного объекта с учетом занимаемой площади, в том числе площади его крыши, и климатических условий.

Задачи работы:

1. Обосновать состав источников электроснабжения.
2. Предложить и описать структурную схему электроснабжения.

Фактором использования микрогидроэлектростанции (мГС) в качестве источника электроэнергии является существование реки или ручья в близлежащем районе со складом при скорости течения воды не менее 1 м/с. Кроме этого в зимний период при замерзании реки эксплуатация мГС становится невозможной, что усугубляется длительным зимним периодом в районе склада (более 5 месяцев). Для нашего складского объекта подвижный водный канал отсутствует, поэтому остаются только два возможных источника возобновляемой энергии – ВУ и ФЭБ.

Так как сельскохозяйственный склад расположен на местности (п. Молодежный Комсомольского района) с большим количеством солнечных годовых дней (более 255), предлагается для повышения надежности электроснабжения объекта использовать ФЭБ и ВУ совместно. Среднегодовая скорость ветрового потока в зоне нахождения склада – около 5 м/с. Поэтому источник ВУ будем использовать в качестве дополнительного, а ФЭБ - в качестве основного. В качестве резервного источника электроэнергии предусматривается генератор с двигателем внутреннего сгорания мощностью не менее 2 кВт. Соотношение между установочными мощностями основным источником энергии - ФЭБ и дополнительным - ВУ принимаем как 70% и 30%, или по суточному энергообеспечению соответственно как 42 кВт\*ч и 18 кВт\*ч. Приоритет солнечных батарей позволяет снизить ёмкость аккумуляторных батарей. Структурная схема электроснабжения склада представлена на рисунке 1. Основные элементы структурной схемы: фотоэлектрические батареи, ветроэлектрическая установка с вертикальной осью вращения, аккумуляторные батареи, гибридный контроллер заряда и инвертор.

С учетом соотношения удельной мощности ФЭБ и их габаритов требуемая площадь для установки фотопанелей составила примерно  $95 \text{ м}^2$ . При этом площадь крыши склада превышает  $200 \text{ м}^2$ . Количество солнечных панелей при установке на крыше склада зависит от их типоразмера, оптимальной направленности, затенения и угла наклона крыши, а также от характеристик самих панелей.

В силу нестабильности возобновляемого ресурса требуются накопители энергии (аккумуляторные батареи (АБ)) достаточно большой емкости, емкость которых зависит от ряда факторов (мощности потребления, климатических условий, суточного графика нагрузки и др.). Мощность инвертора (соответственно и стоимость) зависит от максимальной мощности подключения потребителей переменного тока (220В, 50 Гц), но не менее 2 кВт.

Дополнительный источник энергии – ветроустановку - нужно выбирать с учетом ее расположения в природоохранной зоне. Наиболее оптимально - использовать ВУ с вертикально-вращающимся ротором, которая имеет рабочий диапазон по скорости ветра от 3 м/с до 5 м/с и пониженную шумность. Кинематическая схема ВУ с безредукторным низкооборотным магнитоэлектрическим генератором минимизирует потери и упрощает эксплуатацию установки [4,5,6].

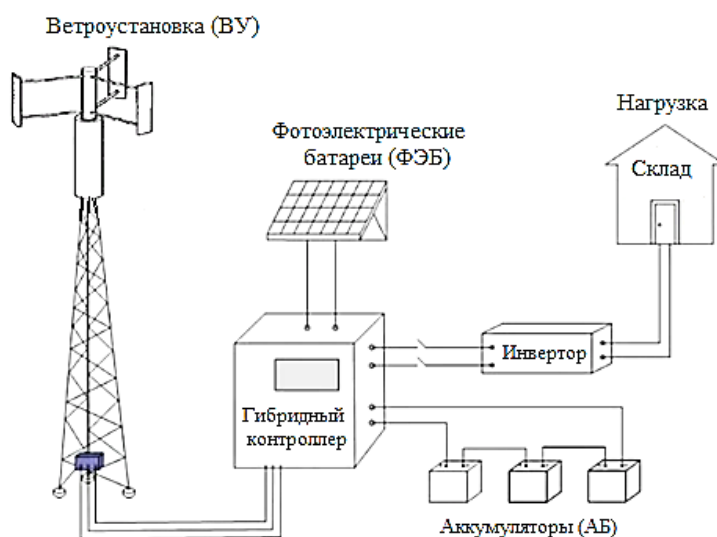


Рисунок 1 - Структурная схема автономного электроснабжения, где обозначены основные элементы: основной источник (ВУ), дополнительный источник (ФЭБ), гибридный контроллер заряда; накопители (АБ), инвертор и нагрузка (склад).

Солнечный фотоэлектрический источник должен покрывать потребности электроснабжения склада в течение 24 часов при времени зарядки не более 12 часов. Поэтому солнечные панели должны иметь установленную мощность примерно в 2 раза больше требуемой мощности энергопотребления склада. При этом наличие ветроустановки повышает надежность автономного электроснабжения складского объекта.

### Заключение

В работе представлена структурная схема автономной системы электроснабжения сельскохозяйственного склада на базе альтернативных источников энергии - ВУ и ФЭБ. Система электроснабжения является гибридной с преобладанием одного из источников, обосновано распределения мощности между ними. Так как одно из требований к ВУ - малые начальные значения скорости ветра для начала движения ротора (1-2 м/с) и начала работы генератора (3 – 4 м/с) предлагается использование ВУ с вертикальной осью вращения. Относительно экологии такие ветроустановки менее опасны для птиц, обладают пониженным шумом, значения которого, в отличие от горизонтальных ВУ, редко превышают звуковой предел в 20Дб [7,8].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колякин, В. Л. Система электроснабжения промышленного объекта на базе возобновляемых источников энергии / В. Л. Колякин, А. В. Янченко // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 6-10 апреля 2020 г. Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: ФБГОУ ВО «КНАГУ», 2020. – С. 263-265. – EDN TCGPPP.
2. Алексюк, О.Э. Автономная энергетика для малого предприятия / О.Э. Алексюк, А.В. Янченко, Д.Д. Иванов // Актуальные вопросы энергетики. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Омск, 14–15 мая 2021 года. Омск: Омский государственный технический университет, 2021. – С. 51-54. – EDN: CXHNMF.
3. Энергия солнца и ветра [Электронный ресурс]: Электронная библиотека - Режим доступа: <http://mig-energo.ru/diod/>, свободный, (дата обращения 21.11.2023).
4. Ветрогенератор турбинного типа [Электронный ресурс]: Электронная библиотека - Режим доступа: <https://tcip.ru/blog/wind/dostoinstva-i-printsip-raboty-vetrogeneratora-turbinnogo-tipa.html>, свободный, (дата обращения 14.05.2023).
5. Ветрогенераторы с вертикальной осью вращения [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.ekopower.ru/vetrogeneratoryi-s-vertikalnoy-osyu-vrashheniya-grossiyskogo-proizvodstva/>, свободный, (дата обращения 15.05.2023).
6. Кулагин Р.Н. Анализ конструкции тихоходных генераторов с постоянными магнитами / Известия ВолГТУ. - 2011. - №7. - С. 87-80.
7. Соломин Е.В. Основы методологии разработки вертикально-осевых ветроэнергетических установок / Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. 2011. № 1. С. 18–28.
8. Холстед Р.Л., Соломин Е.В. Технические особенности и преимущества ветроэнергетических установок / Альтернативная энергетика и экология – ISJAEE. 2010. № 1. С. 36–41.

УДК 620.92

Ключин 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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

### **STUDY OF THE POSSIBILITIES OF USING BIOGAS IN ENERGY**

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы использования биогаза, их достоинства и недостатки. Для биогаза рассмотрены аспекты производства, использования, особенностей сжигания его и получения тепла. Произведено сравнения биогаза и традиционного топлива в экологическом разрезе.

Annotation. The paper discusses the use of biogas, their advantages and disadvantages. For biogas, aspects of production, use, features of its combustion and heat generation are considered. A comparison was made of biogas and traditional fuel from an environmental perspective.

Ключевые слова: котельная установка, биогаз, сжигание, экология

Keywords: boilers, biogas, combustion, ecology

## **Введение**

В современном мире имеется постоянный спрос на электрическую и тепловую энергию. Россия с ее холодными районами, относительно большими расстояниями между населенными пунктами, небольшой культурой сбережения энергии является основным потребителем разнообразных энергетических ресурсов. В основном, значительная доля потребления энергии приходится на ископаемое топливо – природный газ, нефть и уголь. Но запасы ископаемого топлива ограничены. Для получения каждого нового кубометра природного газа, каждого нового барреля нефти приходится разрабатывать новые, отдаленные, труднодоступные месторождения, расположенные порой в глухих местах, и добывать эти ценные ископаемые в более тяжелых условиях. Поэтому истощение природных запасов энергетических ресурсов будет способствовать повышению рентабельности возобновляемых источников энергии. Одним из возобновляемых источников энергии является биогаз. В дальнейшем он может стать альтернативой потреблению природного газа.

## **Основная часть**

В ходе послания Федеральному собранию в 2024 году президент Владимир Путин высказал свои соображения по улучшению экологического состояния в стране. В частности, он акцентировал внимание на том, что необходимо уменьшить вредные выбросы в атмосферу в два раза. Производство и сжигание биогаза на специальных электростанциях помогут улучшить экологическую обстановку в стране, так как биогаз – это часть возобновляемой энергетики с нулевым выбросом углерода в экологическом смысле.

Биогаз можно производить из любых отходов жизнедеятельности человека [1,3,4]: бытовые отходы и сточные воды, навоз и сельскохозяйственные отходы, разнообразная растительная масса и пищевые отходы. Основной способ получения биогаза — это анаэробное сбраживание анаэробными микроорганизмами и метаногенами вышеуказанных продуктов жизнедеятельности. Биогаз преимущественно состоит из метана и углекислого газа, также он может содержать небольшие количества водорода, сероводорода, аммиака и воды. Биогаз возможно использовать как сразу напрямую после его получения, так и после очистки его от несгораемых компонентов (углекислого газа) [2]. Область применения у биогаза та же, что и у природного газа – сгорание в котлах, камерах сгорания газовых турбин и иных тепловых двигателей, для приготовления еды или обогрева помещений, а также для получения электроэнергии в топливных элементах.

В основном в настоящее время продукты жизнедеятельности человека (разнообразные отходы, сточные воды, навоз и другие) почти не перерабатываются, а отправляются на свалки, полигоны. Сельскохозяйственные отходы в своем большинстве остаются на полях, сжигаются или отправляются на специальные площадки. Все эти отходы, находясь в разнообразных местах, подвергаются действиям микроорганизмов и частично превращаются в биогаз, который рассеивается в атмосфере. Поэтому с точки зрения экологии, необходимо сделать этот процесс управляемым, размещая биогаз в определенных герметичных емкостях или биогазовых установках, и полученный продукт направлять на энергетические потребности человека.

В этой связи производство биогаза необходимо начинать с небольших домашних приспособлений, доведя процесс до использования специальных сооружений для свиноферм, сельскохозяйственных предприятий или мусорных полигонов. Например, в настоящее время имеются в продаже герметичные полиэтиленовые емкости объемом несколько кубических метров, в которые предлагается складировать бытовые отходы, тем самым ускорять химический процесс образования биогаза с помощью определенных химикатов, а при помощи встроенного в емкость клапана использовать полученный биогаз в целях приготовления пищи на газовых плитах. В том числе, на рынке имеются установки кондиционирования, использующие биогаз как сырье для производства холода, которые, в свою очередь, снизят затраты на электроэнергию.

Биогазовые установки рекомендуется устанавливать близко к источникам отходов для уменьшения издержек по перевозке сырья [1,2]. Полученный в них биогаз возможно

очищать от несгораемых примесей либо использовать сразу. Взаимное сотрудничество с животноводческими фермами вблизи с электроцентралями позволили бы увеличить количество рабочих мест, снизить расходы на доставку сырья для производства энергии путем добавления биогаза к основному топливу при сжигании в котлоагрегатах.

В летнее время, когда нет необходимости в выработке большого количества тепла, такого «нового» газа – огромное количество. Здесь также имеется простор для развития технологий, в частности, производства «холода» летом для хранения сельскохозяйственной продукции, замораживания ягод, грибов, дикоросов и т.д., или наоборот, наладить бизнес по варке полуфабрикатов, выпечке хлеба, сушке леса и так далее.

Транспортировка биогаза происходит аналогично природному газу – в герметичных емкостях под давлением или с помощью трубопроводов.

Сжигание неочищенного биогаза будет сопровождаться более низкими температурами в котле ввиду более низкой калорийности биогаза по отношению к природному газу. Поэтому КПД котлоагрегата при сжигании неочищенного биогаза будет меньше, чем для природного газа. Известно, что более высокие температуры сгорания приводят к более высокому образованию оксидов азота, и в этом плане сжигание биогаза позволит уменьшить количество вредных выбросов на основе оксидов азота.

Несомненным достоинством биогаза является то, что его производство на биогазовых установках происходит непрерывно или в зависимости от наличия определенного объема сырья, но сжигание его можно производить в соответствии с потребностями потребителя в тепловой и электрической энергии [5]. Это могут быть дневные или сезонные циклы, учитывая которые, биогаз можно хранить в герметичных хранилищах под давлением.

Производство и использование биогаза в энергетике для получения горячих теплоносителей и электроэнергии является перспективным направлением, позволяющим экономить природные ресурсы, повторно использовать энергетическую составляющую отходов жизнедеятельности человечества, уменьшать количество вредных выбросов в атмосферу (в частности, углекислого газа и оксидов азота).

Промышленный симбиоз – один из аспектов промышленной экологии, предлагающий иной порядок обмена материалами и энергией, чем это было принято в индустриальном мире. Принцип прост: вместо уничтожения избыточные ресурсы, генерируемые каким-либо промышленным процессом, собираются и перенаправляются для использования в качестве нового вклада в другой процесс одной или несколькими компаниями, обеспечивая взаимную выгоду, например, при использовании биогаза в небольших котельных для подогрева воды в бытовых помещениях (душевые персонала, столовый комплекс, производственные и подсобные помещения и т.д.).

В малоэтажном строительстве небольшая теплоэнергетическая станция могла бы охватить отдельный микрорайон, обеспечив его теплом и электроэнергией, в том числе предоставить услуги кондиционирования по индивидуальному запросу потребителя. В таком случае данный микрорайон становится менее зависимым от городских сетей и их обслуживания. Использование биогаза расширит возможности трудоустройства жителей сельскохозяйственного поселка и будет способствовать развитию животноводческого комплекса.

### **Заключение**

Биогаз может в определенных областях заменить или использоваться совместно с природным газом, разнообразные тепловые машины и котлы могут без особых изменений работать на биогазе. Цикл по переработке, продуктов жизнедеятельности человека и разнообразных отходов позволить получить энергию и уменьшить воздействие человека на окружающую среду. Возможности биогаза не ограничиваются его использованием в индустриальной и энергетической отрасли, они гораздо шире. Он может служить альтернативным источником автомобильного топлива, который может быть задействован в сельскохозяйственной промышленности в указанном секторе.



## 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.
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.
4. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии // Дж. Твайделл, А. Уэйр, Пер. с акгл. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 392 с.: ил.
5. Умбеткулов, Е.К. Накопители электроэнергии. Учебное пособие. // Е.К. Умбеткулов, И.С. Соколова. – Алматы: АУЭС им Г. Даукеева, 2022. – 79 с.

УДК 62-131.3

Колесник Максим Борисович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Mr. Maxim B. Kolesnik, graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

### ASYNCHRONOUS MOTOR CALCULATION ALGORITHM

Аннотация. В статье приведен пример расчета согласно предложенной ранее методике проектирования асинхронного двигателя для привода герметичной задвижки под заданные условия работы, более детально описан алгоритм расчета и его основные этапы, определены параметры механизма и двигателя, удовлетворяющие критериям выбора.

Abstract. The article provides an example of calculation according to the previously proposed methodology for designing an asynchronous motor to drive a sealed valve under specified operating conditions, describes in more detail the calculation algorithm and its main stages, defines the parameters of the mechanism and engine that meet the selection criteria.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, методика проектирования, алгоритм.

Key words: asynchronous motor, design methodology, algorithm.

### Введение

В статье приведен алгоритм и пример расчета асинхронного двигателя с линейным перемещением исполнительного элемента под заданные условия.

### Основная часть

На рисунке 1, 2 приведен расчетный алгоритм проектирования асинхронного двигателя, соответствующий методике.

### Пример расчета

Исходные данные:

Осевое усилие  $F_{max}$ , Н:

$$F_{max} = 47127.$$

Скорость перемещения заслонки  $v$ , мм/с:

$$v = 4 \dots 5.$$

1 Определение предварительной мощности двигателя.

Предварительная мощность двигателя, Вт:

$$P_{пред} = \frac{F_{max} \cdot v \cdot 10^{-3}}{\eta_{винт}}, \quad (1)$$

где  $\eta_{винт} = 0,5$  – предварительное КПД передачи винт-гайка.

$$P_{\text{пред1}} = \frac{47127 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 377,016.$$

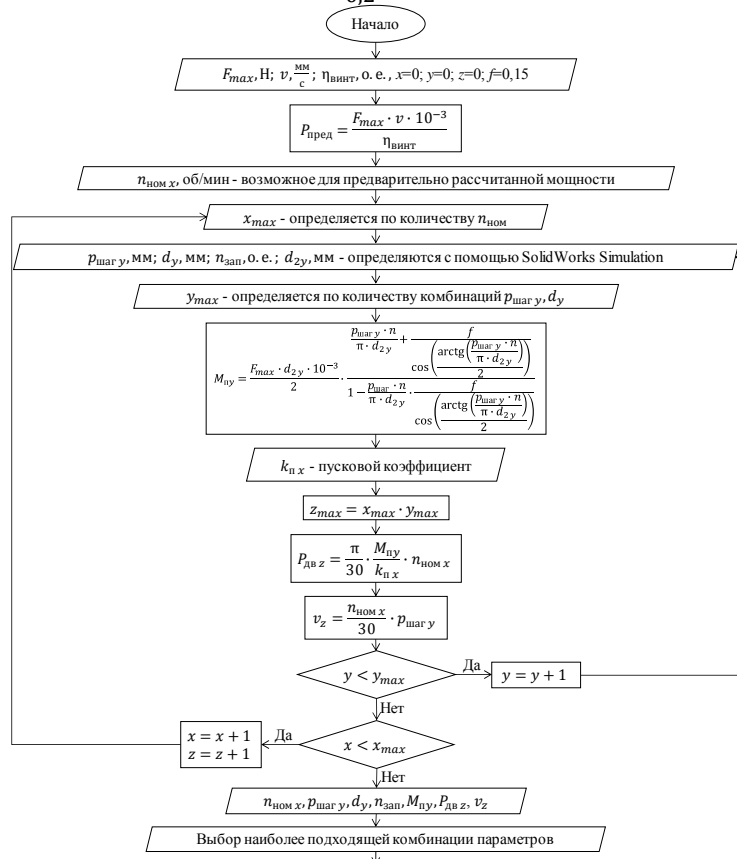


Рисунок 1 – Расчетный алгоритм проектирования асинхронного двигателя

$$P_{\text{пред2}} = \frac{47127 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 471,27.$$

$$P_{\text{пред}} = 377,016..471,27.$$

## 2 Определение номинальной скорости вращения двигателя.

Для данной мощности двигателей номинальная скорость вращения может быть равна, об/мин:

$$\begin{aligned} n_{\text{НОМ1}} &= 750; \\ n_{\text{НОМ2}} &= 1000; \\ n_{\text{НОМ3}} &= 1500; \\ n_{\text{НОМ4}} &= 3000. \end{aligned}$$

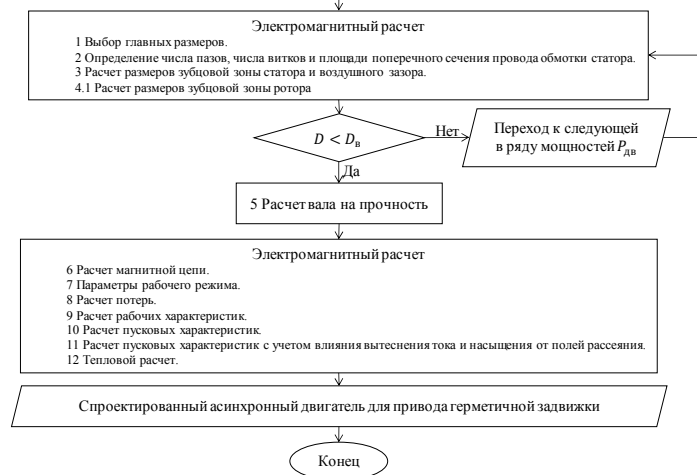


Рисунок 2 – Расчетный алгоритм проектирования асинхронного двигателя (продолжение)

### 3 Определение диаметра и шага резьбы исполнительного механизма.

Для уменьшения времени расчета были использованы уже известные данные о результатах прочностного расчета исполнительного механизма в статье [1, 2].

Из приведенной статьи был взят исполнительный механизм с указанными в ней параметрами трапецеидальной резьбы. Исходная модель была упрощена путем оставления лишь одного витка резьбы. К нему была приложена вся нагрузка. Полученные результаты были исходной точкой для подбора остальных комбинаций. Затем путем изменения шага и диаметра резьбы были получены варианты метрической резьбы с параметрами, приведенными в таблице 1 [3, 4].

Таблица 1 – Параметры полученных типов резьбы

№	Тип резьбы	Шаг резьбы $p_{\text{шаг}}$ , мм	Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм	Запас прочности, $n$
1	Трапецеидальная	2	14	2,059
2	Метрическая	2	14	2,404
3	Метрическая	1,5	14	2,884
4	Метрическая	1	16	2,083
5	Метрическая	0,75	16	2,203
6	Метрическая	0,5	18	2,083

### 4 Определение необходимого пускового момента двигателя.

Пусковой момент двигателя  $M_{\text{п1}}$ , Н · м:

$$M_{\text{п1}} = \frac{F_{\text{max}} \cdot d_{21} \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \frac{\frac{p_{\text{шаг1}} \cdot n}{\pi \cdot d_2} + \frac{f}{\cos\left(\frac{\arctg\left(\frac{p_{\text{шаг1}} \cdot n}{\pi \cdot d_{21}}\right)}{2}\right)}}{1 - \frac{p_{\text{шаг1}} \cdot n}{\pi \cdot d_{21}} \cdot \frac{f}{\cos\left(\frac{\arctg\left(\frac{p_{\text{шаг1}} \cdot n}{\pi \cdot d_{21}}\right)}{2}\right)}}, \quad (2)$$

где  $d_{21} = 13$  – средний диаметр наружной резьбы, мм;

$n = 1$  – число заходов резьбы;

$p_{\text{шаг1}} = 2$  – шаг резьбы, мм;

$f = 0,15$  – коэффициент трения металл – металл, о.е.

$$M_{\text{п1}} = \frac{47127 \cdot 13 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \frac{\frac{2 \cdot 1}{\pi \cdot 13} + \frac{0,15}{\cos\left(\frac{\arctg\left(\frac{2 \cdot 1}{\pi \cdot 13}\right)}{2}\right)}}{1 - \frac{2 \cdot 1}{\pi \cdot 13} \cdot \frac{f}{\cos\left(\frac{\arctg\left(\frac{2 \cdot 1}{\pi \cdot 13}\right)}{2}\right)}} = 61,41.$$

Значения пускового момента для соответствующего типа резьбы сведены в таблице 2.

### 5 Определение мощности двигателя.

Мощность двигателя Вт:

$$P_{\text{дв1}} = \frac{\pi}{30} \cdot \frac{M_{\text{п1}}}{k_{\text{п1}}} \cdot n_{\text{ном1}}, \quad (3)$$

где  $k_{\text{п}} = 2,6$  – кратность пускового момента по отношению к номинальному.

$$P_{\text{дв1}} = \frac{\pi}{30} \cdot \frac{61,41}{2,6} \cdot 750 = 1855,05.$$

Полученное значение мощности округляем до ближайшего большего значения, указанного в ГОСТ 12139-84 Машины электрические вращающиеся.

Принимаем  $P_{\text{дв1}} = 2,2$  кВт.

### 6 Определение скорости перемещения заслонки.

Скорость перемещения заслонки определяется по формуле,  $v$ , мм/с:

$$v_1 = \frac{n_{\text{ном1}}}{60} \cdot p_{\text{шаг1}}, \quad (4)$$

где  $n_{\text{ном1}} = 750$  – номинальная скорость двигателя, об/мин,

$p_{\text{шаг1}} = 2$  – выбранный шаг резьбы, мм.

$$v_1 = \frac{750}{60} \cdot 2 = 25.$$

Значения скорости перемещения заслонки и мощности двигателя для соответствующего типа резьбы сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Сводная таблица для выбора параметров механизма

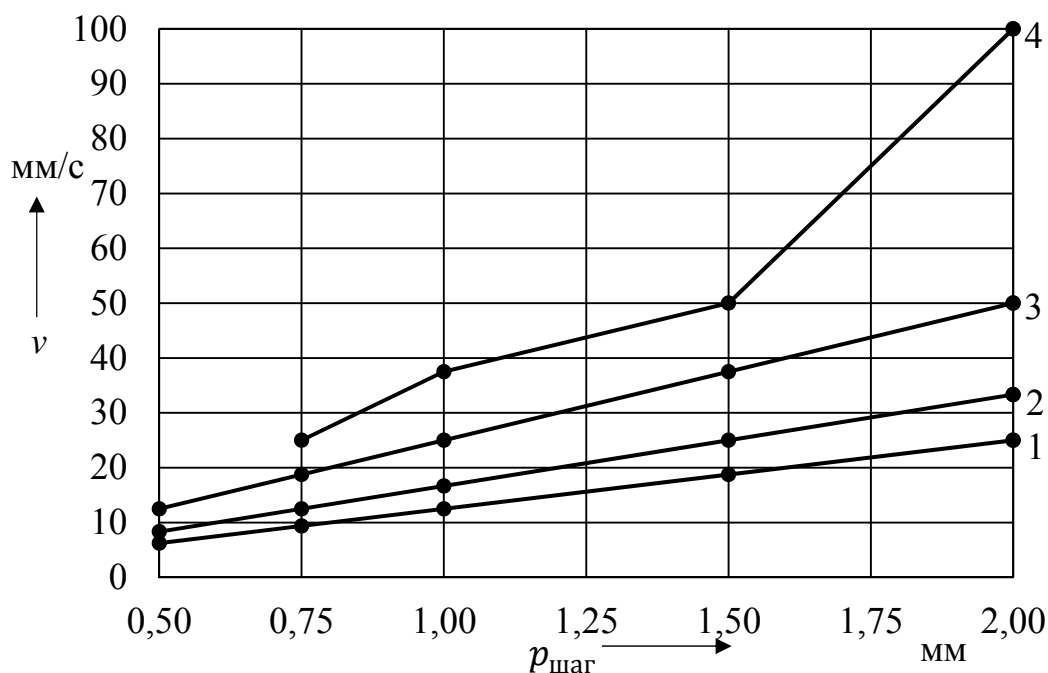
№	Тип резьбы	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	$p_{\text{шаг}}$ , мм	$d$ , мм	Запас прочности $n$	$M_{\text{п}}$ , Н·м	$k_{\text{п}}$	$P_{\text{дв}}$ , Вт	$v$ , мм/с
1	Трапецеидальная	750	2,00	14	2,059	61,41	2,60	1855,05	25,00
2	Трапецеидальная	1000	2,00	14	2,059	61,41	2,10	3062,30	33,33
3	Трапецеидальная	1500	2,00	14	2,059	61,41	3,50	2756,07	50,00
4	Трапецеидальная	3000	2,00	14	2,059	61,41	2,80	6890,18	100,00
5	Метрическая	750	2,00	14	2,404	57,31	2,60	1731,20	25,00
6	Метрическая	1000	2,00	14	2,404	57,31	2,10	2857,85	33,33
7	Метрическая	1500	2,00	14	2,404	57,31	3,50	2572,07	50,00
8	Метрическая	3000	2,00	14	2,404	57,31	2,80	6430,17	100,00
9	Метрическая	750	1,50	14	2,884	55,32	2,60	1671,09	18,75
10	Метрическая	1000	1,50	14	2,884	55,32	2,10	2758,62	25,00
11	Метрическая	1500	1,50	14	2,884	55,32	3,50	2482,76	37,50
12	Метрическая	3000	1,50	14	2,884	55,32	2,80	6206,89	75,00
13	Метрическая	750	1,00	16	2,083	61,95	2,60	1871,36	12,50
14	Метрическая	1000	1,00	16	2,083	61,95	2,10	3089,23	16,67
15	Метрическая	1500	1,00	16	2,083	61,95	3,50	2780,31	25,00
16	Метрическая	3000	1,00	16	2,083	61,95	2,80	6950,77	50,00
17	Метрическая	750	0,75	16	2,203	60,59	2,60	1830,28	9,38
18	Метрическая	1000	0,75	16	2,203	60,59	2,10	3021,41	12,50
19	Метрическая	1500	0,75	16	2,203	60,59	3,50	2719,27	18,75
20	Метрическая	3000	0,75	16	2,203	60,59	2,80	6798,18	37,50
21	Метрическая	750	0,50	18	2,083	66,31	2,60	2003,07	6,25
22	Метрическая	1000	0,50	18	2,083	66,31	2,10	3306,65	8,33
23	Метрическая	1500	0,50	18	2,083	66,31	3,50	2975,99	12,50
24	Метрическая	3000	0,50	18	2,083	66,31	2,80	7439,96	25,00

### 7 Выбор наиболее подходящих параметров механизма.

На основе полученных данных необходимо определить номинальную скорость двигателя (число пар полюсов) и параметры резьбы. В данном случае критериями выбора, расположенными в порядке приоритета являются:

- минимальная скорость перемещения заслонки при питании напряжением номинальной величины и частоты, а второстепенными:
- минимальный пусковой момент двигателя;
- минимальная мощность двигателя.

Построим график зависимости скорости линейного перемещения заслонки от шага резьбы  $v = f(p_{\text{шаг}})$  для всех номинальных скоростей двигателя  $n_{\text{ном}}$ . Кривые представлены на рисунке 3.



1 –  $n_{\text{ном}} = 750$  об/мин; 2 –  $n_{\text{ном}} = 1000$  об/мин;  
 3 –  $n_{\text{ном}} = 1500$  об/мин; 4 –  $n_{\text{ном}} = 3000$  об/мин  
 Рисунок 3 – Зависимость  $v = f(p_{\text{шаг}})$

На рисунке 3 ни одно из принимаемых значений кривых не входит в рекомендуемый диапазон для скорости перемещения заслонки  $v = 4 \dots 5 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ , поэтому, так как возможно регулирование скорости вращения ротора асинхронного двигателя, то увеличим диапазон в 3 раза до значения  $v = 12 \dots 15 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ . Параметры механизма со значениями скорости  $v$ , входящими в заданный диапазон, представлены в таблице 3. Мощности двигателя приведем к мощностям в соответствии с ГОСТ 12139-84 Машины электрические вращающиеся  $P_{\text{гост}}$  [5].

Таблица 3 – Параметры механизма после первоначального отбора

№	Тип резьбы	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	$p_{\text{шаг}}$ , мм	$d$ , мм	$M_{\text{п}}$ , Н·м	$P_{\text{дв}}$ , Вт	$P_{\text{гост}}$ , кВт	$v$ , мм/с
1	Метрическая	750	1,00	16	61,95	1871,36	2,2	12,50
2	Метрическая	750	0,75	16	60,59	1830,28	2,2	9,38
3	Метрическая	1000	0,75	16	60,59	3021,41	3,7	12,50
4	Метрическая	750	0,50	18	66,31	2003,07	2,2	6,25
5	Метрическая	1000	0,50	18	66,31	3306,65	3,7	8,33
6	Метрическая	1500	0,50	18	66,31	2975,99	3,0	12,50

Далее исключим из списка механизмы с мощностью 3 и 3,7 кВт. В таблице 4 приведем окончательный список параметров для выбора.

Таблица 4 – Окончательный список параметров механизма

№	Тип резьбы	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	$p_{\text{шаг}}$ , мм	$d$ , мм	$M_{\text{п}}$ , Н·м	$P_{\text{дв}}$ , Вт	$P_{\text{гост}}$ , кВт	$v$ , мм/с
1	Метрическая	750	1,00	16	61,95	1871,36	2,2	12,50
2	Метрическая	750	0,75	16	60,59	1830,28	2,2	9,38
3	Метрическая	750	0,50	18	66,31	2003,07	2,2	6,25

Так как приоритетным критерием выбора является  $v$ , то по нему определяются параметры механизма, которые приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры механизма

№	Тип резьбы	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	$p_{\text{шаг}}$ , мм	$d$ , мм	$M_{\text{п}}$ , Н·м	$P_{\text{дв}}$ , кВт	$v$ , мм/с
21	Метрическая	750	0,50	18	66,31	2,2	6,25

#### **Заключение**

Таким образом, параметры исполнительного механизма и двигателя определены. Дальнейшие расчеты необходимо выполнять в соответствии с классической методикой проектирования асинхронных двигателей [6].

#### **Благодарности.**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00089.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Колесник, М. Б. Определение мощности электропривода герметичной задвижки с учетом действующих нагрузок / М. Б. Колесник, С.Н. Иванов, К.К. Ким // Электробезопасность и энергосбережение. 2023. № 1. С. 68-77.

2. Kolesnik M.B., Ivanov S.N., Kim K.K. The Determination of Output Parameters of the Electric Drive of the Sealed Valve of the Main Pipeline / Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME). ICIE: International Conference on Industrial Engineering (2023). Springer, Cham. International Publishing AG.P.p. 158-167. doi.org/10.1007/978-3-031-38126-3\_17.

3. Алямовский, А. А. Инженерные расчёты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

4. Биргер, И. А. Расчёт на прочность деталей машин: справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.

5. Ivanov, S. N. Synthesis Of The Control Device Of The Electromechanical Drive Of The Main Valve / S. N. Ivanov, K.K. Kim, A. V. Gorbunov // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 18-22 May. 2020, DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.911 2086.

6. Копылов, И. П. Электрические машины / И. П. Копылов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.

УДК 621.311-027

Кривошапов Никита Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Krivoshapov Nikita Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **РАЗРАБОТКА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА С МАЛЫМ МОМЕНТОМ ТРОГАНИЯ ДЛЯ ВЕТРОУСТАНОВКИ**

#### **DEVELOPMENT OF A MAGNETOELECTRIC GENERATOR WITH LOW STARTING TORQUE FOR WIND TURNERS**

Аннотация. В работе рассматривается проектирование магнитоэлектрического генератора небольшой мощности (до 3 кВт) с минимальным моментом трогания для ветроэнергетической установки. Конструкция генератора предполагает безредукторное соединение с ветроустановкой. В процессе проектирования сделан расчет габаритных размеров и мощности генератора, получена зависимость основных размеров магнитоэлектрического генератора от его мощности.

Abstract. The paper discusses the design of a low-power magnetolectric generator (up to 3 kW) with a minimum starting torque for a wind power plant. The design of the generator involves a gearless connection to the wind turbine. During the design process, a calculation was made of the overall dimensions and power of the generator, and the dependence of the main dimensions of the magnetolectric generator on its power was obtained.

Ключевые слова: ветроустановка, магнитоэлектрический генератор, момент трогания, постоянные магниты.

Key words: wind turbine, magnetolectric generator, starting moment, permanent magnets.

### Введение

Для современного развития ветроэнергетики актуально разработка оптимальных электрогенераторов различной мощности для ветроустановок. При использовании низкооборотных ветротурбин, вал которых напрямую соединен с валом электрического генератора, возникает проблема генерирования достаточно высокого выходного напряжения и электрической мощности. Один из способов ее решения – использование многополюсного магнитоэлектрического генератора (МЭГ) [1,2]. Отсутствие у МЭГ коллектора и щеток позволяет существенно повысить его надежность и срок службы без ремонта и обслуживания. Применение постоянных магнитов с высокими значениями остаточной индукции и коэрцитивной силы позволяет значительно улучшить электрические характеристики генератора и уменьшить его габариты [3]. С учетом основного требования к генератору ( малый момент трогания ) предлагается двухроторная конструкция МЭГ [4,5] аксиального типа - вариант обмоток между магнитами ( рисунок 1).

Целью данной работы является разработка методики расчета трехфазного магнитоэлектрического генератора и оценка его массо-габаритных показателей. Задачи работы:

1. Привести обоснование выбора конструктивной схемы генератора.
2. Применить предложенную методику расчета для генератора с конкретными параметрами.

### Основная часть

Если число обмоток равно числу магнитных полюсов, то при прохождении магнитного полюса мимо обмотки с сердечником возникают силы магнитного тяжения и скачки момента сопротивления на валу. Для ослабления этого эффекта в однофазном генераторе увеличивают или уменьшают число обмоток ( $m$ ) на единицу или на две по сравнению с числом магнитов ( $n$ ) (см. таблицу 1). При построении схемы трехфазного генератора число магнитов (полюсов) может быть кратно двум, а число обмоток - трем с тем же коэффициентом [4].

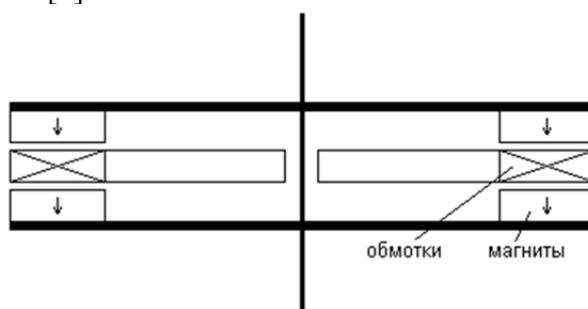


Рисунок 1 – Компоновка двухроторной конструкции аксиального низкооборотного МЭГ

Если полностью отказаться от применения стальных сердечников в обмотках, тогда при любом положении ротора скачков момента на валу в режиме холостого хода не будет. Такие обмотки необходимо делать минимальной высоты, сравнимой с величиной высоты магнита. Это позволяет минимизировать уменьшение магнитной индукции в рабочем зазоре МЭГ.

Таблица 1 Рекомендуемое число полюсов и обмоток МЭГ

Число полюсов, $n$	2	4	6	8	10	12	14	16
для однофазного электрогенератора								
Число обмоток, $m = n - 1$	-	3	5	7	9	11	13	15
Число обмоток, $m = n + 1$	3	5	7	9	11	13	15	17
Число обмоток, $m = n - 2$	-	-	4	6	8	10	12	14
Число обмоток, $m = n + 2$	-	6	8	10	12	14	16	18
для трехфазного электрогенератора								
Число обмоток, $m = 3 \cdot n / 2$	3	6	9	12	15	18	21	24

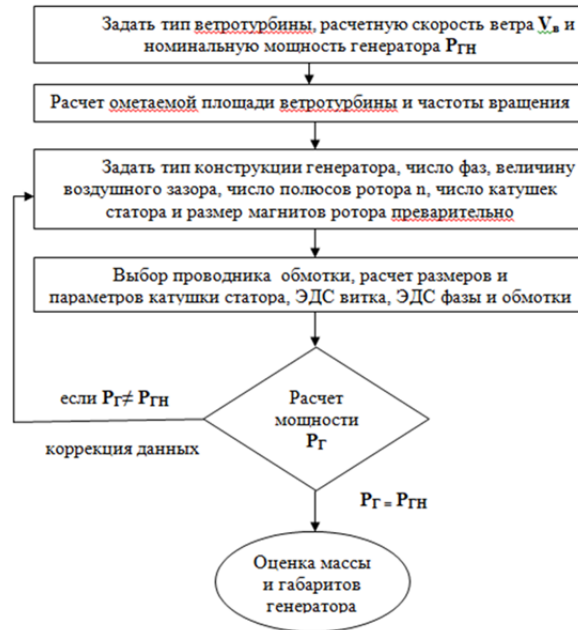


Рисунок 2 – Блок-схема расчета основных параметров МЭГ

При расчете безредукторного МЭГ мощностью 2000 Вт для расчетной скорости ветра 8 м/с ометаемая площадь ВЭУ составила 18,6 м<sup>2</sup>, а частота вращения трехлопастной горизонтальной ветротурбины 156 об/мин. В результате 3-х итераций расчета мощности были получены следующие результаты расчета: схема обмоток генератора – трехфазная - «звезда», число полюсов ротора  $n=12$ , число катушек статора без сердечников  $m=18$ , размеры неодимовых магнитов 70\*50\*7 мм, диаметр ротора  $D_p=460$  мм, аксиальный размер генератора - 50 мм, мощность генератора в режиме к.з. -  $P_{\text{к.з.}} = 2350$  Вт, вес – приблизительно 26 – 28 кг. В результате ряда расчетов была получена зависимость мощности от диаметра ротора для двухроторных 3-х-фазных МЭГ с постоянной толщиной (высотой) катушки статора – рисунок 3.



Рисунок 3 – Зависимость между мощностью и диаметром ротора низкооборотного МЭГ при постоянстве толщины катушек и магнитов



## **Заключение**

Разработана методика и алгоритм расчета МЭГ. Выбранная двухроторная конструкция МЭГ позволяет полностью исключить противомомент от сил магнитного тяжения. Мощность генератора 2 кВт достигается при диаметре ротора 450 – 460 мм, мощность 3 кВт – при диаметре 480 мм. Малый момент трогания обеспечит запуск ветрогенератора при малых скоростях ветра.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Ледовский А.Н. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами.: Энергоатомиздат, 1985 . 168 с.
2. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины.: Высшая школа, 1990. 416 с.
3. Пат. 2433301 Российская Федерация, МПК7 F 03 D 1/02, F 03 D 7/04. Двухроторный ветрогенератор / Моренко К. С. ; заявитель и патентообладатель Моренко К. С. — № 2009140845/06 ; заявл. 03.11.2009 ; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 31. — 7 с. : ил.
4. Лаборатория независимых исследований// Источники альтернативной энергии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://imlab.narod.ru/Energy/Gen\\_16\\_12/Gen\\_16\\_12.htm](https://imlab.narod.ru/Energy/Gen_16_12/Gen_16_12.htm) / (дата обращения: 01.03.2024).
5. Моренко, К. С. Двухроторные электрические генераторы для ветроустановок / К. С. Моренко, Г. В. Степанчук // Вестник аграрной науки Дона. — зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2011. — №2(14). — С. 66–73. — ISSN 2075–6704

УДК 621.182

Кузин Геннадий Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет.

Kuzin Gennady Viktorovich, student, Komsomolsk-na-Amure 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 “Thermal power plants”, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ГЛУБОКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ХАБАРОВСКОЙ ТЭЦ-3.**

### **DEEP UTILIZATION OF FLUE GASES FROM Khabarovsk HPP-3**

Аннотация. В статье рассматривается вопрос глубокой утилизации тепла дымовых газов на Хабаровской ТЭЦ-3 с последующей конденсацией. Дымовые газы, покидающие котел, дополнительно охлаждаются до температур, при которых водяные пары начинают конденсироваться на стенках утилизационного экономайзера. Это позволит более полно использовать химическую энергию угля и природного газа и уменьшить негативное воздействие ТЭЦ на окружающую среду.

Annotation. The article deals with the issue of deep utilization of flue gas heat at Khabarovsk HPP-3 with subsequent condensation. The flue gases leaving the boiler are additionally cooled to temperatures at which water vapor begins to condense on the walls of the recycling economizer. This will make it possible to use the chemical energy of coal and natural gas more fully and reduce the negative impact of the HPP on the environment.

Ключевые слова: дымовые газы, котел, конденсация, энергоэффективность, экономайзер  
Keywords: flue gases, boiler, condensation, energy efficiency, economizer

## **Введение**

Постоянное повышение энерговооруженности, повышение потребления энергии и стоимости ископаемого топлива влекут за собой повышение привлекательности применения энергосберегающих технологий при производстве электроэнергии.

Глубокая утилизация тепла дымовых газов представляет собой снижение температуры дымовых газов с конденсацией паров воды до температур ниже 100°C. Вследствие этого, в технологический процесс возвращается часть тепла уходящих газов, а образующийся конденсат возможно использовать в технологическом процессе. Содержание влаги уходящих газов снижается и процесс конденсации в дымовой трубе уменьшается, что приводит к увеличению срока службы и снижает затраты на ремонт.

Глубокая утилизация дымовых газов является важной технологией для снижения вредного воздействия на окружающую среду. Она позволяет более эффективно использовать тепло продуктов сжигания топлива, и вследствие этого уменьшить удельные выбросы диоксида углерода и оксидов азота и серы.

Помимо экологических преимуществ, глубокая утилизация теплоты дымовых газов также может принести экономическую выгоду. Повторное использование продуктов сжигания топлива позволяет уменьшить расходы на закупку сырья и сэкономить на обращении с отходами.

## **Основная часть**

На Хабаровской ТЭЦ-3 вопрос по глубокой утилизации теплоты уходящих газов может быть реализован с помощью использования конденсационного теплообменника. Это устройство, которое применяется для эффективного переноса тепла между влажными дымовыми газами с одной стороны и средой воспринимающей тепло (вода, воздух) с другой стороны. Рассматриваемый теплообменник широко используется в различных отраслях промышленности, а также в бытовых условиях для повышения энергоэффективности систем.

Принцип работы конденсационного теплообменника основан на том, что в процессе конденсации водяных паров и охлаждения дымовых газов их теплота полезно используется в технологическом процессе. Таким образом, конденсационные теплообменники позволяют экономить энергию ископаемого топлива и уменьшить затраты на нагрев.

Основные преимущества использования конденсационного теплообменника включают в себя высокую эффективность теплообмена, компактные размеры, надежность и долговечность. Кроме того, такие устройства могут быть легко адаптированы к различным условиям эксплуатации и требованиям производства.

Технологический процесс по выработке тепла и электроэнергии на Хабаровской ТЭЦ-3 сопровождается образованием большого количества уходящего тепла, которое выводится через дымовую трубу и не используется. Предлагается использовать тепловую энергию, образующуюся при сжигании топлива, для нужд потребителя.

Дымовые газы, содержащие тепловую энергию, охлаждаются в котле (в испарителях, пароперегревателях, воздухоподогревателе и водяном экономайзере). При установке дополнительного теплообменника – конденсационного экономайзера – утилизация оставшегося тепла в данном случае будет происходить при конденсации водяных паров, а выделяемое при этом тепло будет использоваться для нагрева теплоносителя (например, воздуха или питательной воды). Данное мероприятие считается глубокой утилизацией.

В обычных условиях дымовые газы с относительно высокой температурой покидают котел (более 130-140 °С) и тепловая энергия рассеивается в атмосферу. Эта энергия состоит из собственно тепловой энергии дымовых газов и энергии конденсации (теплоты фазового перехода) паров воды в дымовых газах. Вода в дымовых газах присутствует из-за двух основных причин: в топливе, которое подается в котел присутствует влага (как в твердом, так и в жидком и в газообразном состояниях); в процессе сгорания водородной составляющей углеводородного топлива образуются пары воды.

Расчеты показывают, что глубокая утилизация тепла дымовых газов снижает расход природных ресурсов и повышает коэффициент использования топлива котла в СП «Хабаровская ТЭЦ-3» АО «Дальневосточная генерирующая компания» на несколько процентов, в зависимости от температуры уходящих газов, и защищает окружающую среду от загрязнений. Та часть тепла, которая раньше выбрасывалась в окружающую среду через дымовую трубу, после прохождения утилизационного экономайзера перейдет в полезную энергию для дальнейшего использования, тем самым снижая тепловое загрязнение воздуха.

Недостатком и отрицательной стороной конденсационного экономайзера является появление конденсата, имеющего в своем составе слабые кислотные реакции из-за растворенных в нем оксида серы и углекислого газа, поэтому к материалу теплообменника нужно предъявлять особые требования. Сам конденсат нужно утилизировать – сливать, отстаивать, возвращать в технологический цикл. Требуется нейтрализация вредных примесей. Уменьшается срок службы теплообменного аппарата из-за находящейся там кислотной среды, что необходимо учитывать при проектировании с условием применения материалов, более устойчивых к агрессивной среде.

### **Заключение**

Таким образом, глубокая утилизация теплоты дымовых газов поможет увеличить энергоэффективность СП «Хабаровской ТЭЦ-3» АО «Дальневосточная генерирующая компания» за счет повышения КПД котлоагрегата, а также уменьшения расхода топлива. Переход на более низкие температуры охлаждения дымовых газов может быть вполне технически реализуем. Также применение данного решения является экономически целесообразным. Обратной стороной медали является использование теплообменника больших размеров, выполненного из материалов, устойчивых к агрессивной среде, повышение аэродинамического сопротивления газового тракта, необходимость утилизации большого количества слабо кислых вод, образующихся в результате конденсации водяных паров.

Технико-экономические расчёты доказывают, что данное мероприятие способствует повышению коэффициента полезного действия при сжигании топлива, что позволяет повысить энергоэффективность парового котла марки ТПЕ-215. Достигается это путём использования скрытой теплоты конденсации водяных паров дымовых газов.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Беспалов, В.В. Исследование и оптимизация глубины утилизации тепла дымовых газов в поверхностных теплообменниках / В.В. Беспалов, В.И. Беспалов, Д.В. Мельников // Теплоэнергетика. – 2017. – № 9. – С. 64–70.
2. Беспалов, В.В. Повышение эффективности глубокой утилизации тепла дымовых газов ТЭС на природном газе: дисс. ... канд. техн. наук. – Томск, 2017. – 119 с.
3. Горпиняк, М.С. Конденсация парогазовой смеси в трубах / М.С. Горпиняк, А.П. Солодов // Теплоэнергетика. – 2019. – № 6. – С. 17–26.
4. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях // А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – М: Машиностроение, 2011. – 374 с.
5. О тепловом состоянии конденсационного теплообменника / Ю.С. Теплицкий, Е.А. Пицуха, А.Р. Рослик, Э.К. Бучилко // Инженерно-физический журнал. – 2021. – Т. 94. – № 3. – С. 590–598.

УДК 621.313.322.81

Лалетина Юлия Геннадьевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Laletina Julia Gennadijevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Хвостиков Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Alexander Stanislavovich Khvostikov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department "Thermal power plants", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ**

### **IMPROVING THE COOLING EFFICIENCY OF TURBO GENERATORS**

Аннотация. В статье рассмотрены, различны системы охлаждения турбогенераторов. Наиболее часто производители для охлаждения турбогенераторов используют систему непосредственного водородного охлаждения. Для повышения эффективности водородного охлаждения турбогенератора необходим постоянный контроль и снижения влажности. В соответствии с анализом методов интенсификации охлаждения турбогенераторов наиболее перспективными методами для восстановления температурного поля обмоток генератора на действующем оборудовании является снижение температур теплоносителя с помощью абсорбционного теплового насоса.

Abstract. The article discusses various cooling systems of turbo generators. Most often, manufacturers use a direct hydrogen cooling system to cool turbogenerators. To increase the efficiency of hydrogen cooling of the turbine generator, constant monitoring and humidity reduction are necessary. In accordance with the analysis of methods for intensifying cooling of turbogenerators, the most promising methods for restoring the temperature field of the generator windings on existing equipment is to reduce the temperature of the coolant using an absorption heat pump.

Ключевые слова: система охлаждения турбогенератора, теплообмен, эффективность, абсорбционный тепловой насос, подпазовый канал.

Key words: turbine generator cooling system, heat exchange, efficiency, absorption heat pump, sub-phase channel.

#### **Введение**

Во время работы электрогенераторов, вследствие соударения движущихся электронов с частицами проводника, выделяется тепло. Эффективность работы и надежность тепловой изоляции зависит от температуры нагрева турбогенератора. Для минимизации нагрева турбогенератора применяют его охлаждение. Со временем эффективность охлаждения снижается вследствие загрязнения поверхностей теплообмена, старения изоляции обмоток и других факторов. В статье рассмотрим современные методы повышения эффективности охлаждения турбогенераторов с минимальными изменениями конструкции, позволяющие провести модернизацию на действующем оборудовании.

#### **Основная часть**

В настоящее время системы охлаждения турбогенераторов подразделяется на водородное, водородно-водяное, воздушное и полностью водяное охлаждение. При этом, по способу отвода тепла от обмоток, различают непосредственное охлаждение и косвенное охлаждение. При непосредственном охлаждении отвод тепла происходит за счет непосредственного контакта с охлаждающей средой, при косвенном охлаждающая среда прогоняется через специальные каналы и непосредственного контакта с проводниками не происходит. Наибольшее распространение при производстве турбогенераторов получило полностью газовое охлаждение с косвенным отводом тепла. Преимущество водородного охлаждения перед воздушным обусловлено следующими факторами:

- плотность водорода в 14,3 раза более низкая по сравнению с воздухом (при 3% примеси воздуха в 10 раз меньше), поэтому затраты на трение вращающегося ротора в 10 раз меньше;

- у водорода более, чем в 1,51 раза выше коэффициент теплопередачи;
- у водорода в 7 раз более высокая теплопроводность.

Преимущества водорода позволяют повысить эффективность отдачи тепла, уменьшить значения скорости движения охлаждаемой среды, вследствие чего КПД генератора повышается на 1%. Однако при использовании водорода для охлаждения генератора возможно образование взрывоопасной смеси, вследствие чего всю измерительную аппаратуру выполняют во взрыво и искробезопасном исполнении.

Сложности эксплуатации водородных систем охлаждения обусловлены попаданием водяного пара через уплотнение вала из увлажненной турбинной смазки. Также при возникновении течи в газоохладителях и узлах водоподвода обмоток турбогенератора может происходить увлажнение охлаждающего водорода. При понижении температуры происходит конденсация влаги, пагубно влияющей на состояние изоляции обмоток и механическую прочность бандажей ротора. Сконденсированная влага попадает на конструктивные элементы внутри корпуса генератора и стимулирует коррозию стали. Для уменьшения содержания влаги в водороде применяют: замену свежим водородом, циркуляцию через дополнительную петлю с осушением, абсорбционные установки, вихревые, воздушно испарительные и др. осушительные установки и термоэлектрические осушительные установки [1].

Основные направления совершенствования систем водородного охлаждения направлены на повышение эффективности теплообмена с совершенствованием каналов охлаждения и распределения охлаждающего водорода в подпазовых каналах. При равномерном сечении подпазового канала появляется неравномерность распределения охлаждающего тела. С использованием переменного сечения подпазового канала происходит выравнивание скоростей в радиальных каналах. При выравнивании скоростей нет необходимости подачи дополнительного охлаждающего тела для охлаждения зон с повышенной температурой и, как следствие, снижается общий расход воздуха и дополнительные затраты на работу водородной станции и циркулирования водорода в системе охлаждения [2, 3].

Совершенствование каналов охлаждения требует значительного изменения конструкции ротора и для восстановления температурного поля обмоток генератора на действующем оборудовании не может быть применено, так как требует значительных капитальных вложений. Решение задач по определению эффективности охлаждения турбогенератора возможно с помощью комплекса мультифизических пакетов анализа на примере COMSOL Multiphysics и Ansys Multiphysics.

Без значительных изменений конструкции генератора повысить эффективность охлаждения возможно за счет снижения температуры охлаждающего водорода. Температура охлаждающего водорода определяется системой технического водоснабжения. Дополнительное охлаждение возможно в результате применения тепловых насосов и холодильных машин. Холодильные машины являются источником дополнительных затрат. Применение тепловых насосов на тепловой электрической станции позволяет произвести дополнительную выработку тепловой энергии за счет утилизации, в том числе низкопотенциальных источников тепла [4].

Тепловые насосы подразделяются на компрессионные и абсорбционные. Компрессионные тепловые насосы работают на основе сжатия рабочего тела компрессором. Для привода компрессора затрачивается дорогостоящая электрическая энергия, вырабатываемая тепловой энергией. Абсорбционные тепловые насосы в качестве источника энергии могут использовать тепловую энергию отборов пара турбины. Поэтому использование абсорбционных тепловых насосов для снижения температуры тела охлаждающего водорода является наиболее энергетически оправданным.

## **Заключение**

Для повышения эффективности систем водородного охлаждения турбогенераторов необходим постоянный контроль за содержанием влаги в водороде и ее удаление. Применение перспективных методов осушения водорода позволит снизить негативное воздействие от влаги на элементы генератора и показатели его работы. В соответствии с анализом методов интенсификации охлаждения турбогенераторов, наиболее перспективными методами для восстановления температурного поля обмоток генератора на действующем оборудовании является снижение температур теплоносителя с помощью абсорбционного теплового насоса.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Левицкий, А. С. Обзор некоторых схем охлаждения турбогенераторов и контроля влажности охлаждающего водорода / А. С. Левицкий, А. И. Новик // Праці інституту електродинаміки національної академії наук України. – 2014. – № 39. – С. 24-28.
2. Антонюк, О. В. Разработка и обоснование новых конструкций мощных турбогенераторов с газовым охлаждением : специальность 05.09.01 "Электромеханика и электрические аппараты" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Антонюк Олег Викторович. – Санкт-Петербург, 2016. – 22 с.
3. Верховцев, Д. А. О тепловом состоянии обмотки ротора турбогенератора с самовентиляцией из подпазового канала / Д. А. Верховцев, Э. И. Гуревич, Н. В. Коровкин // Электрические станции. – 2021. – № 5(1078). – С. 38-43.
4. Применение абсорбционных бромисто-литиевых холодильных машин в производственном цикле электрических станций / Д. Л. Догадин, А. Б. Анохин, Г. Г. Латыпов, И. Н. Крыкин // Электрические станции. – 2014. – № 10(999). – С. 40-46.

УДК 629.423.31

Мирошниченко Екатерина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав», Ростовский государственный университет путей сообщения  
Miroshnichenko Ekaterina Evgenievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Traction Rolling Stock, Rostov State Transport University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОНОЙ МАШИНЫ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАЗОРА**

### **RESEARCH OF THE MAGNETIC SYSTEM OF A SWITCHED RELUCTANCE MACHINE WITH GAP UNEVENITY**

Аннотация. Изготовление вентильно-индукторной машины (ВИМ) с равномерным зазором минимальной величины сложная задача. Наличие неравномерного воздушного зазора обуславливает возникновение сил одностороннего магнитного притяжения (ОМП). Местом приложения сил служат подшипники, подвергающиеся повышенному износу. Рассмотрена магнитная система ВИМ при динамическом смещении ротора, и найдены силы. Анализ результатов показал необходимость в ограничения этих сил до определенного допустимого уровня.

Abstract. Manufacturing a switched reluctance machine (SRM) with a uniform gap of a minimum size is a difficult task. The presence of an uneven air gap causes the emergence of forces of one-way magnetic attraction (OMA). The place where forces are applied are bearings that are subject to increased wear. The magnetic system of a switched reluctance machine with dynamic displacement of the rotor is considered, and the forces are found. Analysis of the results showed the need to limit these forces to a certain acceptable level.

Ключевые слова: вентильно-индукторная машина, силы одностороннего магнитного притяжения, динамическое смещение, магнитная система, степень насыщения  
Key words: switched reluctance machine, force of a one-way magnetic attraction, dynamic rotor displacement, magnetic system, degree of saturation

## Введение

С целью обеспечения в России высоких скоростей движения требуются электрические машины с улучшенными показателями энергоэффективности и надежности. Наиболее перспективными в этом плане являются ВИМ. Они позволят улучшить характеристики подвижного состава и уменьшить расходы на эксплуатацию [1]. ВИМ имеет недостаток – силы ОМП в случае неравномерности воздушного зазора. Местом приложения сил являются подшипники, что снижает ресурс их работу, возникают шумы и вибрации ВИМ. Причинами неравномерности зазора могут быть неточности в изготовлении её отдельных частей либо смещения элементов, возникающие в процессе работы [2-5].

## Основная часть

Рассмотрен случай асимметрии магнитной системы ВИМ, спроектированной в корпусе тягового асинхронного двигателя высокоскоростного электропоезда «Сапсан» (рисунок 1). Асимметрия возникла по причине динамического смещения, полученного из-за сдвига ротора вдоль оси Y (по направлению силы тяжести – наихудший случай) [5]. Задаваясь определенной величиной сдвига, поэтапно определялись силы ОМП [3].

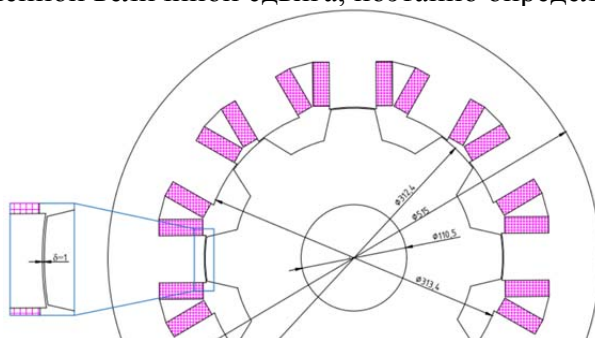


Рисунок 1 – Фрагмент магнитной системы трехфазного ВИД

ВИД (рисунок 1) – это трехфазная машина с числом витков в катушке равном  $N = 20$  шт. Длина магнитной системы  $l_M = 295$  мм. На первом этапе, для нахождения матрицы потокосцепления фазы  $\psi = f(i, \theta)$  электрической машины, применен метод конечных элементов пакета прикладной программы FEMM. На втором этапе, используя полученную матрицу в программном комплексе MATLAB (SIMULINK), найдены кривые токов в зависимости от времени  $i(t)$  (рисунок 2) для соответствующих фаз.

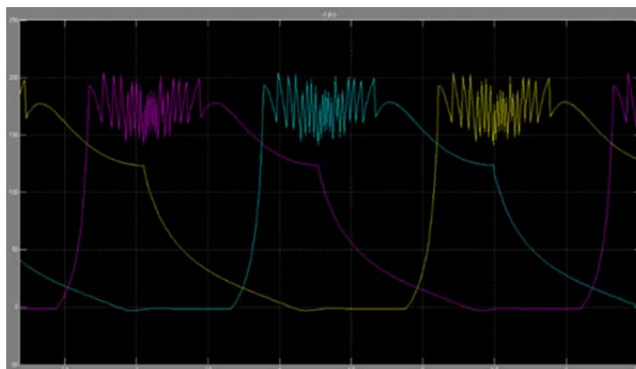


Рисунок 2 – Зависимости фазных токов обмотки ВИД в программном комплексе MATLAB (SIMULINK)

Третий этап – определение сил ОМП при заданном динамическом смещении (используются токи в зависимости от угла поворота ротора  $i(\theta)$ ). Силы ОМП (рисунок 3, а) получены при динамическом смещении ротора вдоль оси Y с шагом 0,3 мм в случае коммутации фазы А. Кривые сил ОМП изменяют свою величину, постепенно возрастают вначале, затем резко достигая максимума, также, резко снижаются по завершению цикла коммутации фазы. Пик силы ОМП соответствует значению фазного тока, приходящегося на спадающий участок. Силы ОМП (рисунок 3, б) представлены в зависимости от величины тока для случая согласованного положения зубцов ротора и статора фазы А.

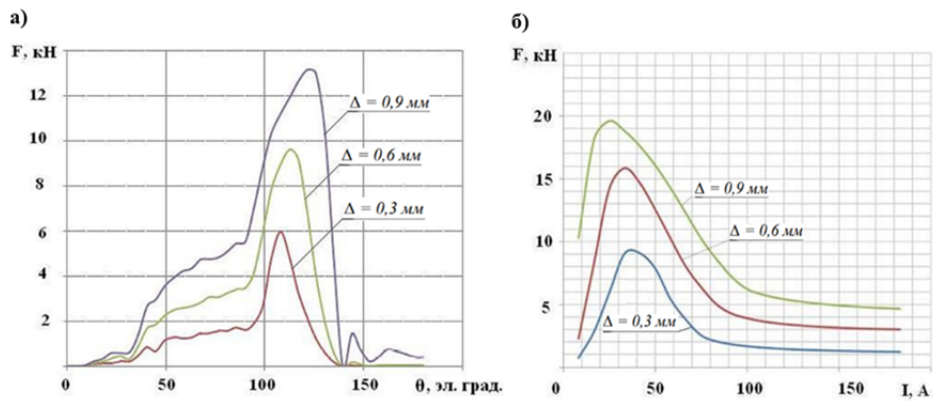


Рисунок 3 – Силы ОМП при динамическом смещении ротора вдоль оси Y:  
 а) интервал коммутации фазы; б) согласованное положение зубцов фазы

Приняты вышеописанные условия смещения. Анализ графика показывает, что силы ОМП с увеличением тока резко возрастают и, приняв максимальное значение, плавно снижаются, а затем, дойдя до определенного минимума, остаются практически неизменными по величине вне зависимости от дальнейшего роста силы тока. Такой характер кривых сил ОМП можно объяснить с точки зрения насыщения участков магнитной системы ВИМ (рисунок 4) и перераспределением магнитного поля (рисунок 5). Участок резко возрастающей силы ОМП соответствует прямолинейному участку кривой намагничивания  $\psi(i, \theta)$  (180 эл.град.) (рисунок 4). Максимального значения сила ОМП достигает в завершении данного прямолинейного участка кривой намагничивания. Затем, силы ОМП постепенно снижаются, приходясь на участок, соответствующий перегибу кривой намагничивания. Далее, наступает эффект насыщения (характер сил ОМП остается неизменным) (рисунок 4).

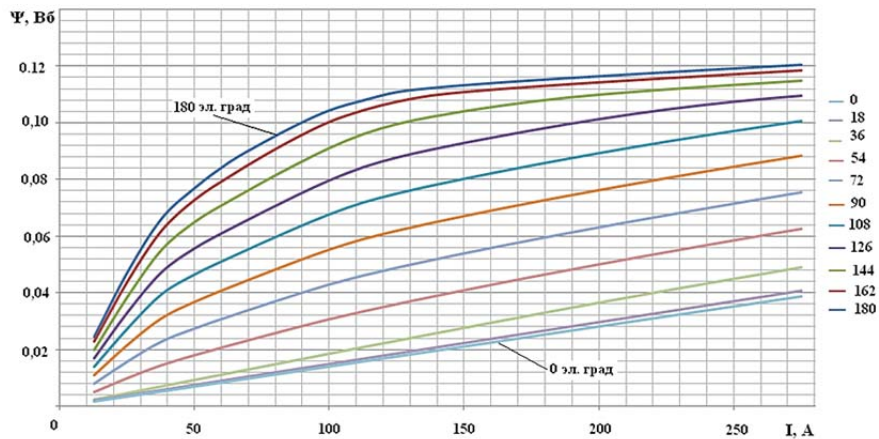


Рисунок 4 – Кривые намагничивания  $\psi(i, \theta)$

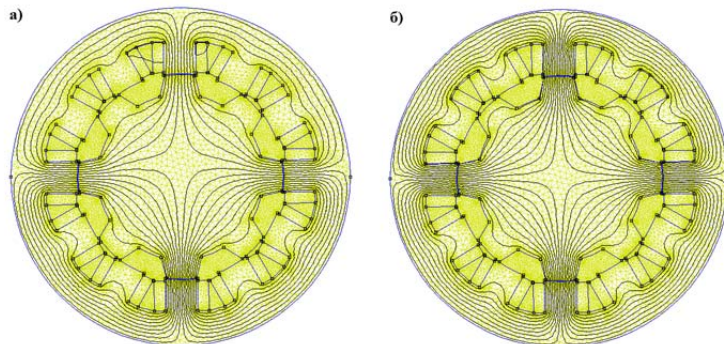


Рисунок 5 – Распределение магнитного поля в ВИМ при сдвиге ротора  $\Delta = 0,3$  мм в направлении действия силы тяжести:  
 а) малая степень насыщения; б) магнитная система насыщена



## **Заключение**

Неравномерность воздушного зазора растет в результате воздействия сил ОМП. Следует внести предложения, либо комплекс мероприятий по уменьшению влияния сил ОМП до допустимого уровня. Мероприятия могут проводиться на различных этапах жизненного цикла электрической машины (в зависимости от причин возникновения неравномерности воздушного зазора в ВИМ) с целью продления ресурса работы подшипников.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Кашуба, А.В. Построение алгоритма управления с целью повышения энергоэффективности вентильно-индукторного электродвигателя/ А.В. Кашуба, А.В. Шевкунова// Омский научный вестник. – 2023. – № 4 (188). – С. 60–69.
2. Левин, Н.Н. Силы одностороннего магнитного притяжения в аксиальных индукторных машинах / Н.Н. Левин, А.Д. Серебряков // Computer Modelling & New Technologies. Riga, 2002, vol. 6, no 1, pp. 109-114.
3. Мирошниченко, Е.Е. Высоконадежный вентильно-индукторный двигатель для системы тягового электропривода железнодорожного подвижного состава / Е.Е. Мирошниченко // Омский научный вестник. – 2023. – № 4 (188). – С. 70–76.
4. Токовая диагностика эксцентриситета ротора асинхронных двигателей / Н.Р. Сафин, В.А. Прахт, В.А. Дмитриевский [и др.] // Актуальные проблемы энергосберегающих электротехнологий АПЭЭТ-2014: сборник научных трудов. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – С. 244-248.
5. Петрушин, А.Д. Моделирование вентильно-индукторного электродвигателя при неравномерном воздушном зазоре / А.Д. Петрушин// Известия вузов. Электромеханика. – 2023. – Т. 66. – № 4. – С. 40–45.

УДК 621.565.93

Падерина Оксана Владимировна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Paderina Oksana Vladimirovna, 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

## **СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЖУХОТРУБНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ**

### **STATIC CHARACTERISTICS OF THE SHELL-AND-TUBE HEATER**

Аннотация. Данная статья посвящена вопросам оценки работы кожухотрубного подогревателя на режимах работы, отличных от номинального. Для решения этой задачи была разработана функциональная модель кожухотрубного подогревателя, проведен его тепловой расчет. По рассчитанным параметрам теплоносителей выбран стандартный подогреватель. Произведены поверочные расчеты для различных режимов его работы. Построены статические характеристики подогревателя.

Abstract. This article is devoted to the issues of evaluating the operation of a shell-and-tube heater in operating modes other than nominal. To solve this problem, a functional model of a shell-and-tube heater was developed and its thermal calculation was carried out. According to the calculated parameters of the heat carriers, a standard heater is selected. Verification calculations have been performed for various modes of its operation. The static characteristics of the heater are constructed.

Ключевые слова: кожухотрубный подогреватель, функциональная модель, статические характеристики.

Keywords: shell-and-tube heater, functional model, static characteristics.

## Введение

Актуальность работы обусловлена спецификой эксплуатации теплообменного оборудования. Особенность эксплуатации теплообменных аппаратов заключается в том, что они работают на режимах, отличающихся от номинальных, т.е. расчётных. В практике проектирования элементов теплоэнергетических систем выбор теплообменного оборудования заключается в применении серийно изготавливаемых теплообменных аппаратов [1], которые соответствуют расчетной тепловой нагрузке и исходным значениям параметров теплоносителей [5]. Задачи данной работы сводились к оценке влияния режимов эксплуатации стандартного теплообменного аппарата на параметры теплоносителей в условия, отличающихся от номинального режима.

В данной статье рассмотрены вопросы разработки функциональной модели кожухотрубного подогревателя и анализа его работы.

## Основная часть

В качестве исходных данных приняты следующие параметры теплоносителей (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные теплоносителей

Теплоноситель	Температура на входе, °C	Температура на выходе, °C	Расход, кг/с
Холодная вода	20	50	45
Горячая вода	95	(определяется расчётом)	65

Моделирование теплообменного аппарата выполнено в программе ХАЙСИС (Aspen HYSYS) [2, 3]. Для расчета свойств в потоках схемы был выбран термодинамический пакет Пенг-Робинсон (Peng–Robinson) [4].

Схема функциональной модели теплообменного аппарата с результатами теплового расчёта представлена на рисунке 1.

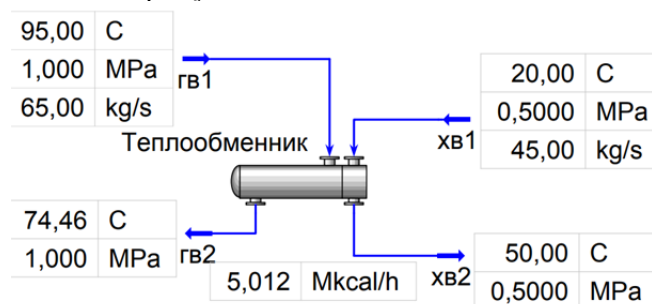


Рисунок 1 – Схема функциональной модели теплового расчета

В результате расчёта определены тепловая нагрузка (5 Мкал/ч) и температура греющей воды на выходе теплообменника (74,5 °C).

Подобран кожухотрубный теплообменник - 800 ТНГ-1,6 [1]

Функциональная модель была дополнена значениями конструктивных параметров - таких, как: диаметр кожуха (800 мм), длина труб (2000 мм), наружный диаметр труб (20 мм), толщина стенки труб (2 мм), материал труб (Сталь 20), количество труб (720 шт.), шаг установки (26 мм) и расположение труб – (рисунок 2, 3).

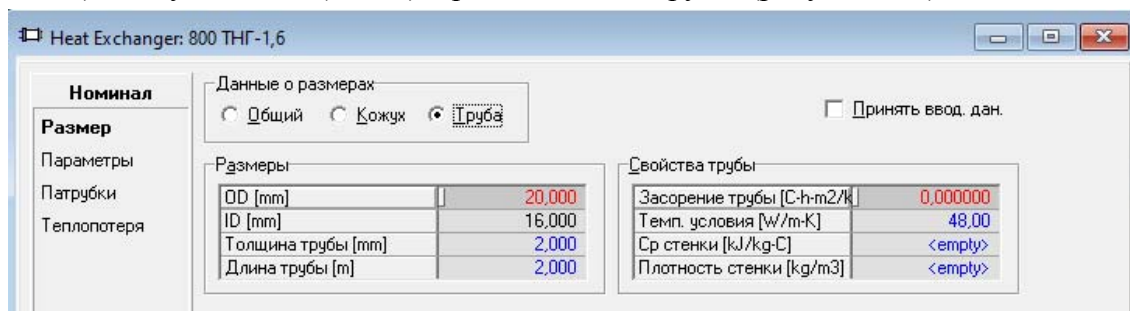


Рисунок 2 – Данные по трубам теплообменника

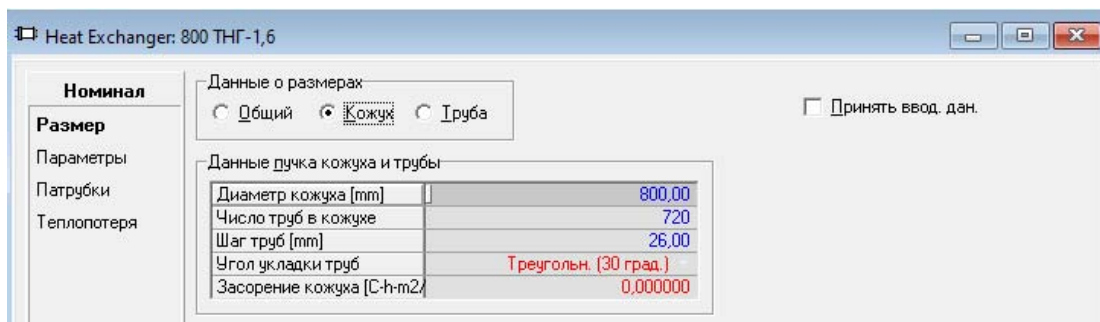


Рисунок 3 – Данные по расположению труб в теплообменнике

Проведен статический расчет теплообменного аппарата. Результат расчета представлен на рисунке 4.

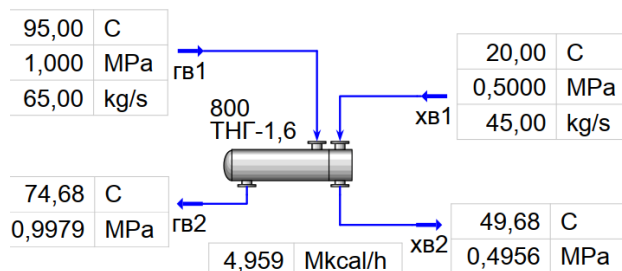


Рисунок 4 – Схема функциональной модели статического расчета

В данной функциональной модели, в результате статического расчета, получены параметры теплоносителей на выходе из теплообменника.

Следующим этапом проведено исследование работы теплообменного аппарата на долевых режимах, когда изменяется расход нагреваемой среды.

Результаты расчётов представлены на рисунке 5.

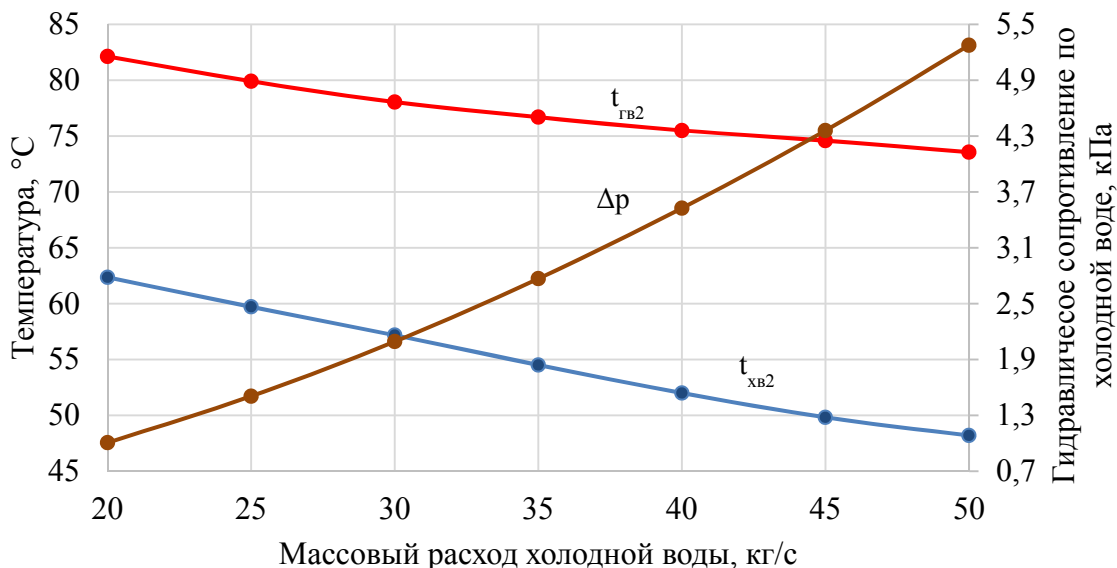


Рисунок 5 – Температуры воды на выходе из теплообменника и гидравлическое сопротивление в трубах холодной воды

### Заключение

В статье проведена оценка работы кожухотрубного подогревателя на режимах работы, отличных от номинального. Для решения этой задачи была разработана функциональная модель кожухотрубного подогревателя, проведен его тепловой расчет. По рассчитанным параметрам теплоносителей выбран стандартный подогреватель. Произведены поверочные расчеты для различных режимов его работы. Построены статические характеристики подогревателя.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ТУ 3612-024-00220302-02. Аппараты теплообменные кожухотрубные с неподвижными трубными решетками и кожухотрубные с температурным компенсатором на кожухе.: ОАО «ВНИИнефтемаш», 2002. – 112 с.
2. Aspen HYSYS. Unit Operations Guide. – Burlington : Aspen Technology, 2010. – 1722 с.
3. Симуляторы тепловых схем энергетического оборудования: метод. указания по выполнению лаб. работ / сост. А. Ю. Попов. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГТУ», 2016. – 19 с.
4. Peng, D.Y., Robinson, D.B. A New Two-Constant Equation of State // Industrial and Engineering Chemistry: Fundamentals, – 1976. Т.15. – С. 59–64.
5. Бажан П.И. Справочник по теплообменным аппаратам.- Москва: Машиностроение, 1989. – 365 с.

УДК 620.92

Палков Константин Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Palkov Konstantin Alekseevich, 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 the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

### **THE RELEVANCE OF USING COMBINED POWER SUPPLY SYSTEMS BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Аннотация. Проблемы высокого роста потребления электроэнергии и повышения экологичности ее производства являются актуальными на данный момент. В работе рассматривается применение комбинированных систем электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии с целью повышения качества общей энергосистемы. Выявляются достоинства и недостатки данных систем, а также решаемые проблемы в результате их внедрения.

Abstract. The problems of high growth in electricity consumption and increasing the environmental friendliness of its production are relevant at this moment. The paper considers the use of combined power supply systems based on renewable energy sources in order to improve the quality of the overall power system. The advantages and disadvantages of these systems are identified, as well as problems solved as a result of their implementation.

Ключевые слова: комбинированные системы электроснабжения, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетическая установка, солнечная энергетическая установка.

Key words: combined power supply systems, renewable energy sources, wind power plant, solar power plant.

### **Введение**

На данный момент наблюдается тенденция роста потребления электроэнергии в России [1-3]. Так использование электроэнергии в стране за 2023 год выросло на 1,4%, а пиковые значения потребления увеличилось на 9% для отдельных областей страны [4]. Также в многих регионах наблюдались и наблюдаются перебои в поставках электричества. Особенно это заметно в зимний период. Например, в некоторых населенных пунктах Московской и Тульской областей потребители остались без электроснабжения на период новогодних праздников в начале 2024 года [5].

Для покрытия роста потребляемых мощностей и повышения надежности объединенной энергетической системы (ОЭС) возможно применение комбинированных систем электроснабжения (КСЭ). Важно учесть экологическую сторону вопроса, т.к. основные используемые способы получения электроэнергии являются неэкологичными. Поэтому в работе рассматривается использование систем на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ)

Целью работ - рассмотреть применение КСЭ на базе ВИЭ для повышения качества энергосистемы, выявить их достоинства и недостатки, а также рассмотреть особенности, возникающие при проектировании и эксплуатации таких систем.

### Основная часть

Рассматриваться будут только ветряные и солнечные источники энергии, т.к. они являются наиболее доступными, и строительство на их базе электростанций наиболее перспективно. Также совместное использование солнечных и ветряных источников более эффективно, так как их комбинация позволяет частично нивелировать минусы друг друга – ветрогенератор может эффективно работать в темное время суток, а солнечная панель производить энергию при сильном ветре или его отсутствии.

Функционально КСЭ можно разделить на три типа: автономные, сетевые, резервные [3]. На рисунке 1 представлен упрощенный пример сетевой комбинированной системы электроснабжения. Ветроэнергетическая установка вырабатывает переменный электрический ток, который преобразуется в постоянный за счет выпрямителя (В). Далее выпрямленный ток разделяется. Часть поступает на батарею аккумулятора (АКБ), где он накапливается, а другая часть преобразуется обратно в переменный ток при помощи инвертора (И) передается потребителю (П) и в сеть. Также параллельно с ветрогенератором солнечные панели вырабатывают постоянный ток, который также поступает в батарею аккумулятора и в общую энергетическую систему через инвертор.

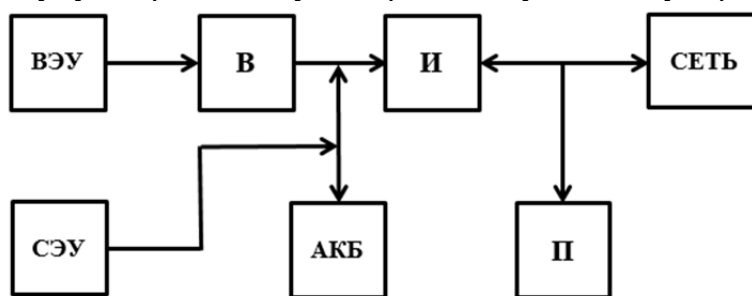


Рисунок 1 – Сетевая комбинированная система электроснабжения

Использование сетевой КСЭ повысит надежность и качество ОЭС, а также **позволит**:

- разгрузить часть подстанций, что уменьшит количество аварий на них;
- ВЭУ и СЭУ могут отдавать излишки выработанной электроэнергии в сеть;
- АКБ может запасть энергию в период малой загруженности электросети и отдавать ее во время пиковых нагрузок или неожиданных аварий;
- производить «чистую» электроэнергию.

При проектировании КСЭ необходимо учитывать множество факторов. Важен правильный выбор инвертора и аккумулирующих батарей. В зависимости от вырабатываемой мощности системы и режимов работы параметры необходимого инвертора будут изменяться, а в зависимости от климатических условий будет меняться и тип аккумулирующих батарей. Так при температурах ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  основные характеристики большинства аккумуляторов будут сильно ухудшаться.

Также важным является вопрос утилизации непригодных компонентов системы. Материалы, из которых изготавливаются большинство накопителей, очень токсичны, поэтому их переработка очень важна. Лопасты ветрогенераторов изготавливаются из полимерных композитов, дальнейшая их переработка трудозатратна и невыгодна, особенно при выводе ВЭУ больших мощностей. Поэтому необходим правильный экономический расчет при проектировании КСЭ.

Если мощность ВЭУ превышает 100 кВт, то также возникает проблема шумового загрязнения, которое пагубно влияет на животных и человека. Поэтому при проектировании и разработке необходимо учитывать фактор шумового воздействия на окружение.

Выделим **положительные** стороны использования КСЭ:

1. Повышение надежности и качества ОЭС;
2. Экологичность. При производстве электроэнергии не происходит выброс загрязняющих веществ в атмосферу;
3. Для производства электроэнергии не требуется использование и транспортировка добываемого топлива;
4. КСЭ просты в эксплуатации и не требуют постоянного контроля. При хорошо настроенной системе автоматического управления возможно минимизировать присутствие человека.

Рассмотрим **отрицательные** стороны использования КСЭ:

1. Большая занимаемая площадь. Аналогичные по мощности системы на базе ископаемых источниках топлива занимают значительно меньше места.
2. Необходимость переработки части компонентов после вывода из эксплуатации;
3. Большие затраты при вводе и выводе из эксплуатации ВЭУ больших мощностей;
4. Возможно пагубное воздействие на окружающую среду из-за неверного проектирования системы и вывода из эксплуатации.

### **Заключение**

В работе было рассмотрено применение КСЭ на базе ВИЭ с целью повышения надежности и качества ОЭС. Использование КСЭ позволит снизить количество аварий, снабжать потребителей «чистой» электроэнергией, а также сглаживать пики нагрузки в общей электросети.

Необходимы разработка новых или усовершенствование уже имеющихся типов и видов накопителей энергии (например, маховиковые, суперконденсаторы), которые бы были экологичнее, производительнее и долговечнее. Также важна разработка новых типов композитных материалов, которые бы было выгодно перерабатывать после вывода из эксплуатации ВЭУ. Необходимо грамотно подходить к процессу проектирования подобных системы, чтобы не наносить вред окружающей среде, животным и главное человеку.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Безруких, П. П., Безруких П.П. (мл.), Грибков С.В. Ветроэнергетика. Справочное и методическое издание / П. П. Безруких. – М.: Интехэнерго-Издат, Теплоэнергетик, 2014. – 304 с. – ISBN 978-5-98385-014-9. – EDN RAXTLT.
2. Солнечные фотоэлектрические станции: монография / Р. А. Амерханов, О. В. Григораш, И. Б. Самородов [и др.]; Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. – 206 с. – ISBN 978-5-00097-279-3. – EDN YQSJWP.
3. Новокрещенов, О. В. Комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии / О. В. Новокрещенов, Г. С. Отмахов, М. Ю. Хуаде // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 132. – С. 786-797. – DOI 10.21515/1990-4665-132-063. – EDN ZTSZYN.
4. Системный оператор единой энергетической системы. Отчеты о функционировании ЕЭС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.sops.ru/functioning/tech-disc/tech-disc-ups/> (дата обращения: 01.04.2024).
5. ТАСС. В Тульской области несколько населенных пунктов остаются без электроснабжения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://tass.ru/proisshestviya/19676437> (дата обращения: 01.04.2024).

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

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

### **EXPERIENCE IN IMPLEMENTING COMBINED CYCLE GAS TECHNOLOGIES AT EXISTING THERMAL POWER PLANTS**

Аннотация. Парогазовые технологии в последнее время получают все большее распространение в стационарной энергетике. Существуют различные виды комбинированных установок, что сказывается на особенностях их внедрения и эксплуатации. В этой связи интересен опыт в реализации парогазовых технологий, полученный на тепловых электростанциях в России. В данной работе рассматриваются примеры реализованных парогазовых установок и их особенности.

Abstract. Combined-cycle gas technologies have recently become increasingly widespread in the stationary energy sector. There are various types of combined installations, which affects the features of their implementation and operation. In this regard, the experience in the implementation of combined-cycle gas technologies obtained at thermal power plants in Russia is interesting. In this paper, examples of implemented combined cycle gas installations and their features are considered.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, парогазовые установки, опыт внедрения, схемы, технико-экономические показатели.

Key words: thermal power plants, combined-cycle gas installations, implementation experience, schemes, technical and economic indicators.

#### **Введение**

В последнее время все больший интерес для тепловых электрических станций представляют комбинированные теплоэнергетические установки, а конкретно – парогазовые установки (далее – ПГУ). Они являются реальной и выгодной перспективой по сравнению с традиционными паротурбинными установками, имеющими более низкий КПД, а также представляют одно из направлений повышения энергоэффективности как действующих, так и новых тепловых электростанций.

На актуальность данного направления также указывает и то, что доля внедрения ПГУ в мировой энергетике увеличивается с каждым годом, повышаются их мощность и эффективность, улучшаются и оптимизируются эксплуатационные характеристики, что, в целом, демонстрирует высокое качество их работы.

Данная работа посвящена изучению опыта применения парогазовых технологий на действующих тепловых электрических станциях (далее – ТЭС) в России на сегодняшний день, их основных технико-экономических показателей, преимуществ и перспектив.

#### **Основная часть**

Современные технологии парогазового цикла отличается высокой эффективностью и обеспечивает более высокий КПД по сравнению с паротурбинными теплоэнергетическими установками. Помимо этого, ПГУ имеют высокую экономичность, низкую стоимость единицы установленной мощности, лучшие экологические показатели, а также сокращают использование природного газа [1].

Парогазовая установка представляет собой комплексную (комбинированную) энергетическую установку, которая состоит из газотурбинной и паротурбинной частей, связанных единой тепловой схемой.

Существуют различные схемы реализации парогазовых технологий в энергетике. Для электростанций, которые работают на газовом топливе, наиболее эффективным способом реконструкции является надстройка существующей паротурбинной части газовыми турбинами, что позволяет достичь результатов при минимальных капиталовложениях и обеспечить высокую надежность станции [2].

Рассмотрим несколько действующих тепловых электростанций, на которых были внедрены парогазовые технологии, и проанализируем их преимущества на сегодняшний день.

Характерные примеры внедрения ПГУ демонстрирует ПАО «Мосэнерго», у которого еще к 2015 г. уже были семь электростанций с блоками ПГУ. Покажем результаты внедрения на примере одной из ТЭЦ. Так, на Московской ТЭЦ-12, построенной еще в 1941 году, в 2015 году был введен новый парогазовый энергоблок ПГУ-220, имеющий номинальную электрическую мощность 220 МВт и тепловую мощность не менее 140 Гкал/ч. До ввода парогазовой установки электрическая мощность ТЭЦ-12 составляла 400 МВт, а тепловая – 1757 Гкал/ч [3]. Таким образом, с введением в действие ПГУ-220 установленная электрическая мощность ТЭЦ-12 увеличилась более чем в 1,5 раза. При этом на станции применяется замкнутая система охлаждения оборудования ПГУ, что позволяет более экономить водные ресурсы. Что касается экономичности, то можно отметить, что удельный расход топлива на выработку энергии в целом по станции с новым энергоблоком снизится на 15–20%.

1. На другой станции – Сызранской ТЭЦ Самарского филиала, построенной в 1947 – в октябре 2021 года пустили энергоблок, созданный на базе парогазовой установки мощностью 225 МВт, который вывел станцию на принципиально новый уровень. На сегодня установленная мощность ТЭЦ составляет 372,4 МВт по электрической энергии и 613 Гкал/ч по тепловой энергии [4]. Данное решение позволило увеличить электрическую мощность, отпуск тепла, повысить КПД, уменьшить удельный расход топлива и снизить выбросы оксидов азота и углерода в окружающую среду.

2. Таким образом, внедрение парогазовых технологий на Сызранской ТЭЦ привело к повышению её экономической и экологической эффективности, а дополнительная электрическая мощность станции позволила снизить дефицит в электроэнергии и обеспечить развитие в регионе новых промышленных производств.

3. Следующим примером можно указать Казанскую ТЭЦ-1, построенную в 1933 году, первоначальная мощность которой составляла всего 20 МВт. В результате модернизации ТЭЦ в августе 2018 года была введена в эксплуатацию ПГУ-230 МВт. На сегодняшний день установленная электрическая мощность Казанской ТЭЦ-1 составляет 426 МВт, а тепловая – 542 Гкал/ч. При этом, первоначальная мощность до введения парогазовой установки составляла 195 МВт. Новая парогазовая технология позволила усилить энергобезопасность города и ликвидировать энергодефицит [5].

### **Заключение**

Замена и повсеместное внедрение ПГУ является в последнее время основной тенденцией развития мировой и отечественной теплоэнергетики.

Развитие парогазовых технологий с высокими эксплуатационными характеристиками по мощности и эффективности является одной из главных тенденций в развитии теплоэнергетики в России. Основными показателями, характеризующими качество работы парогазовых установок, при этом являются её производительность, КПД и надёжность.

Введение ПГУ на действующих тепловых электростанциях позволит увеличить производство электроэнергии при минимальных затратах и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Из этого следует, что развитие данного направления в энергетике является целесообразным и весьма актуальным.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Култышев А. Ю., Голошумова В. Н., Алешина А.С., Парогазовые утановки и особенности паровых турбин для ПГУ: учебное пособие / под ред. А. Ю. Култышева и др. – СПб : Издательство «ПОЛИТЕХ-ПРЕСС», 2022. – 163 с.
2. Зысин Л. В., Сергеев В. В., Каримов З. Ф., Парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции: учебное пособие / под ред. Л. В. Зысина и др. – СПб : Издательство «Политехн. ун-та», 2010. – 368 с.
3. Turbine-diesel.ru : специализированный научно-практический журнал: сайт. – Москва, 2015. – . – URL: <http://www.turbine-diesel.ru/rus/node/3797> (дата обращения: 09.04.2024). – Режим доступа: свободный.
4. Neftegaz.ru : коммуникационное агенство : сайт. – Москва, 2022. – . – URL: <https://neftgaz.ru/news/energy/756791-parogazovaya-ustanovka-pgu-225-na-syzranskoj-tets-10-let-effektivnoy-ekspluatatsii/> (дата обращения: 10.04.2024). – Режим доступа: свободный.
5. Kzn.ru : научная электронная библиотека : сайт. –Казань, 2018. – . – URL: <https://kzn.ru/meriya/press-tsentr/novosti/na-kazanskoj-tets-1-vvedena-v-ekspluatatsiyu-novaya-parogeneratornaya-ustanovka-pgu-230-mvt/> (дата обращения: 10.04.2024). – Режим доступа: свободный.

УДК 621.313

Попов Антон Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Popov Anton Aleksandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Скрипилев Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Skipilev Aleksandr Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electromechanics, Komsomolsk-na-Amure State University

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ПОДЪЁМНОГО КРАНА

### SELECTION OF AN ELECTRIC MOTOR FOR USE IN A LIFTING CRANE DRIVE SYSTEM

Аннотация. В данной научной работе был проведён тщательный анализ систем электропривода, используемых в грузоподъёмных кранах. Особое внимание было уделено изучению существующих конструкций электроприводов и критериям выбора наиболее подходящего типа электродвигателя для этих систем. В рамках исследования были рассмотрены ключевые характеристики и преимущества асинхронных электродвигателей с фазным ротором, а также было выполнено их детальный анализ и описание.

Abstract. In this scientific work, a thorough analysis of the electric drive systems used in lifting cranes was carried out. Special attention was paid to the study of existing electric drive designs and criteria for choosing the most appropriate type of electric motor for these systems. As part of the study, the key characteristics and advantages of asynchronous motors with a phase rotor were considered, and their detailed analysis and description were performed.

Ключевые слова: грузоподъёмный кран, система привода, электродвигатель

Keywords: lifting crane, drive system, electric motor

### Введение

Распространенное использование и высокие эксплуатационные нагрузки на электроприводы крановых агрегатов ставят перед конструкторами задачу обеспечения простоты обращения и безотказности функционирования. В связи с этим, при проектировании таких систем акцент делается на максимальной элементарности электропри-

водных систем и их контрольных схем, даже если это ведет к умеренному сокращению стандартов статических показателей и динамичности приводных механизмов.

Цель данной работы заключается в рассмотрении и анализе приемлемых вариантов электроприводов подъемных кранов

Задачи работы:

Описать конструкцию системы привода грузоподъемного крана на базе асинхронного электродвигателя с фазным ротором;

Рассмотреть асинхронный электродвигатель с фазным ротором;

Предложить изменения, удешевляющие и упрощающие конструкцию электропривода крана.

### Основная часть

Кинематическая схема механизма подъема крана (рисунок 1) состоит из следующих элементов: двигатель 1, муфта 2, тормоз 3, редуктор 4, барабан 5, полиспластная система 6.

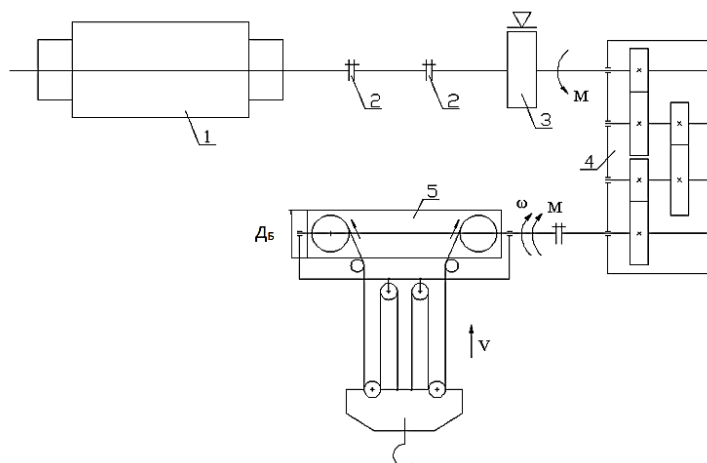


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма подъема крана

Анализ существующей литературы [1-2]. показал, что наилучшими статистическими и динамическими характеристиками обладает электропривод постоянного тока, но вместе с тем их отличает невысокая надежность и высокая стоимость. Поэтому при рассмотрении схем крановых электроприводов стремятся использовать максимально надежные и относительно простые асинхронные электропривода даже за счёт некоторого снижения качества статических и динамических характеристик [4].

Основными технологическими требованиями определяющими выбор систем электропривода является обеспечение заданного закона регулирования скорости, т.е. требуемого диапазоном регулирования скорости  $D$ , регулирование момента приводного двигателя, ограничение динамических нагрузок, ограничение ускорений, точность остановки механизмов, формирование заданного семейства механических характеристик [1]. Минимальная скорость опускания груза ограничивается требованием мягкой установки груза без существенных динамических ударов. В большинстве своём хорошая управляемость подъемных механизмов обеспечивается при диапазоне регулирования  $D=2\div 4$ . Кроме того управление скоростью электропривода осуществляется при определенных значениях допустимых ускорении движущихся механизмов, токов и моментов. Причём для большинства крановых установок при нормированных средних ускорениях суммарное время переходных процессов относительно невелико по сравнению с общим временем рабочего цикла [2]. Поэтому все выше сказанное определяет массовость применения на кранах асинхронных двигателей с фазным ротором, скорость которого регулируется переключением сопротивлений в цепи ротора.

На рисунке 2 показана рассмотренная пусковая диаграмма асинхронного двигателя с фазным ротором, рассмотренного в динамической работе.

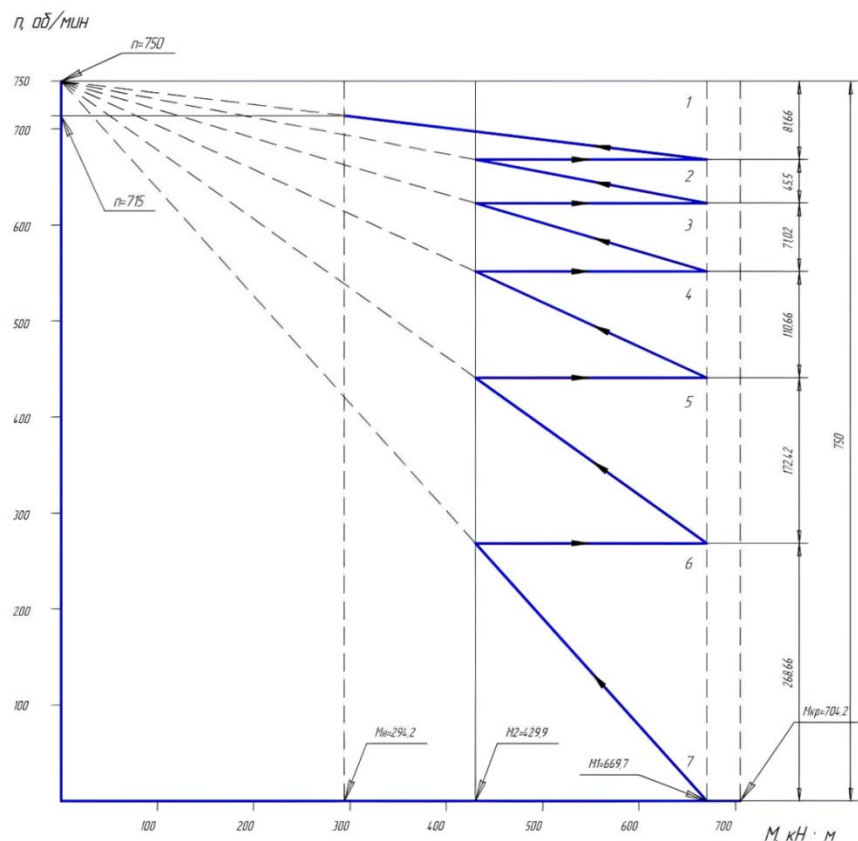


Рисунок 2 – Пусковая диаграмма асинхронного двигателя с фазным ротором

На основе пусковой диаграммы асинхронного электродвигателя с фазным ротором можно сделать вывод, что такие двигатели обеспечивают гибкость в управлении пусковыми характеристиками [3]. Это достигается за счет возможности регулирования сопротивления в цепи ротора, что позволяет оптимизировать пусковые моменты и токи, а также улучшить динамические процессы при запуске и торможении.

### Заключение

В работе был рассмотрен и описан асинхронный электропривод с фазным ротором в системе грузоподъемного крана. Данный тип двигателя обладает высокой степенью регулирования скорости и момента, что делает его идеальным для задач, требующих точного контроля подъема и перемещения тяжелых грузов. Его надежность и адаптивность к различным рабочим условиям обеспечивают эффективность и безопасность в различных грузоподъемных механизмах.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373. с.
2. Ласточкин В.М., Машин А. Е. Реализация энергосберегающих технологий в крановых электроприводах // Поъемно-транспортное оборудование.
3. Яуре А. Г. Певзнер Е. М. Крановый электропривод: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 334 с
4. Удут Л.О, Мальцева О.П. Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч 6. Механическая система электропривода. – издание 2–е переработанное и дополненное – Томск: Изд–во ТПУ, 2007. – 148 с
5. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 4 Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.

УДК 621.316.925

Рахматуллин Самат Султанович, магистрант, Казанский государственный энергетический университет

Rakhmatullin Samat Sultanovich, master's student, Kazan State Power Engineering University

## **АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАСЧЕТА УСТАВОК ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ ЛЭП СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

### **TOPICAL ASPECTS OF CALCULATING THE SETTINGS OF REMOTE POWER LINE PROTECTION OF MODERN POWER SYSTEMS**

Аннотация. В статье рассматривается актуальная на сегодняшний день методика расчета уставок дистанционных защит (ДЗ) линий электропередачи (ЛЭП). Описываются основные принципы и подходы современного параметрирования ДЗ. Приводится пример расчета уставок для конкретного типа ЛЭП. Представляются сведения о влиянии различных факторов на точность осуществляемого расчета. Особое внимание уделяется важным аспектам реализации цифровых решений в области параметрирования микропроцессорных ДЗ, задействованных в энергосистемах.

Abstract. The article deals with the methodology of calculating the settings of distance protection (DP) of power transmission lines (PTL). The basic principles and approaches of modern parameterization of DP are described. An example of calculation of settings for a specific type of PTL is given. Information about the influence of various factors on the accuracy of the calculation is presented. Special attention is paid to important aspects of realization of digital solutions in the field of parameterization of microprocessor-based relays involved in power systems.

Ключевые слова: электроэнергетика, ЛЭП, РЗА, ДЗ, микропроцессорные устройства, расчет уставок.

Key words: power engineering, PTL, RPA, DP, microprocessor devices, setpoint calculation.

#### **Введение**

Дистанционная защита (ДЗ) является одним из основных видов релейной защиты линий электропередачи (ЛЭП). Она основана на измерении расстояния до места повреждения. ДЗ обеспечивает быстрое и селективное отключение поврежденного участка ЛЭП.

Расчет уставок ДЗ является важным этапом проектирования и эксплуатации современных систем электроснабжения. Как правило, расчет включает в себя определение следующих параметров: ток срабатывания защиты; время срабатывания защиты; уставка по сопротивлению. Уставки ДЗ определяют зону действия защиты и время ее срабатывания. Зона действия ДЗ определяется расстоянием до места короткого замыкания (КЗ), которое может быть измерено с помощью специальных устройств – дистанционных органов. Время срабатывания ДЗ зависит от расстояния до места КЗ и скорости распространения электромагнитных волн по ЛЭП [1].

Целью данной статьи является исследование ключевых аспектов параметрирования ДЗ ЛЭП как важного этапа проектирования и эксплуатации энергосистем. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: рассмотреть основные принципы расчета уставок ДЗ; привести пример выбора уставок данного устройства для одного типа ЛЭП; оценить влияние различных факторов на точность расчета. Актуальность исследования заключается в представлении современных принципов параметрирования ДЗ с учетом внедряемых в эксплуатацию в настоящее время микропроцессорных систем и устройств релейной защиты.

#### **Основная часть**

Анализ специализированной литературы показал, что ток срабатывания ДЗ определяется исходя из условия обеспечения чувствительности защиты к КЗ в конце

защищаемой зоны. Время срабатывания ДЗ выбирается таким образом, чтобы обеспечить ее селективность по отношению к другим защитам, установленным на смежных линиях. Уставка по сопротивлению определяется исходя из условий обеспечения требуемой чувствительности и селективности [2].

Для проведения расчета уставок необходимо иметь следующие данные: параметры ЛЭП (длина, сопротивление, мощность нагрузки); характеристики КЗ (ток, напряжение, сопротивление). Расчет может быть выполнен с использованием различных методов, таких как метод последовательных приближений, метод характерных точек или метод номограмм [1, 2].

Рассмотрим пример расчета уставок для ДЗ ЛЭП напряжением 110 кВ, длиной 50 км и мощностью нагрузки 10 МВт. Предположим, что параметры КЗ составляют: ток – 2 кА, напряжение – 115 кВ, сопротивление – 0,5 Ом. Иные параметры примем стандартными, исходя из расчетно-методических документаций. Сначала определим ток срабатывания защиты. Для этого необходимо перемножить коэффициент отстройки (принимая стандартно равным 1,2) и ток КЗ. Тогда ток срабатывания защиты составит: 2,4 кА. Время срабатывания защиты определяется путем суммирования времени выдержки основной защиты (стандартно примем равным 0,5 с.) и ступени селективности (0,3 с.). В результате имеем: 0,8 с. Что касается уставки по сопротивлению, то она рассчитывается путем деления сопротивления КЗ (0,5 Ом) на коэффициент чувствительности (1,5). Итого получаем: 0,33 Ом. Таким образом, для данной ЛЭП имеем следующие уставки ДЗ: ток срабатывания защиты – 2,4 кА; время срабатывания защиты – 0,8 с; уставка по сопротивлению – 0,33 Ом.

Полученные значения уставок ДЗ являются предварительными и могут потребовать корректировки после проведения более детальных расчетов и учета дополнительных факторов, таких как:

1. Параметры срабатывания реле. Необходимо учитывать характеристики используемых реле, такие как коэффициент возврата, время срабатывания и т.д.

2. Влияние переходного сопротивления. В реальных условиях КЗ может сопровождаться переходным сопротивлением, что может повлиять на ток и сопротивление КЗ.

3. Влияние нагрузки. При расчете уставок необходимо учитывать влияние нагрузки на параметры КЗ.

4. Влияние изменения параметров ЛЭП. В процессе эксплуатации параметры ЛЭП могут изменяться, что также может повлиять на уставки защиты [3].

После проведения более детального параметрирования и учета всех факторов, влияющих на работу ДЗ, необходимо провести проверку уставок на соответствие требованиям селективности и чувствительности. Селективность – это свойство защиты, позволяющее ей отключать только поврежденный участок сети. Для обеспечения селективности необходимо, чтобы время срабатывания защиты на каждом последующем участке было больше, чем на предыдущем. Чувствительность – способность защиты реагировать на минимальные значения аварийных параметров. Для обеспечения чувствительности необходимо, чтобы ток и напряжение срабатывания защиты были меньше, чем соответствующие значения аварийных параметров. Если уставки не соответствуют требованиям, следует провести корректировку. После реализации всего вышеперечисленного полученные значения уставок ДЗ могут быть использованы для настройки оборудования [3, 4].

Настройка оборудования заключается в том, чтобы задать определенные параметры работы ДЗ, которые будут соответствовать полученным значениям уставок. Она может быть выполнена с через специальные органы управления на панели аппаратуры или с помощью программного обеспечения. После этого проводятся испытания ДЗ. Они осуществляются для того, чтобы убедиться в правильности работы защиты и ее соответствии требованиям нормативных документов. Испытания могут включать в себя

проверку работы защиты при различных видах КЗ, проверку чувствительности и селективности защиты. Если испытания показывают, что ДЗ работает правильно и соответствует требованиям, то она может быть введена в эксплуатацию. В противном случае необходимо провести дополнительную настройку или замену оборудования [4].

В процессе эксплуатации необходимо проводить периодические проверки и техническое обслуживание оборудования ДЗ, чтобы обеспечить его надлежащую работу. Также важно учитывать возможные изменения параметров сети, которые могут повлиять на срабатывания ДЗ [4].

Важно отметить, что в современных энергосистемах используются микропроцессорные устройства ДЗ, которые обладают высокой точностью и надежностью. Они позволяют реализовать сложные алгоритмы защиты, такие как адаптивная настройка уставок, автоматическое восстановление после КЗ и мониторинг состояния ЛЭП. Микропроцессорные ДЗ имеют следующие преимущества: высокая точность измерения параметров линии; возможность настройки уставок под конкретные условия эксплуатации; автоматическое обновление уставок при изменении параметров ЛЭП; мониторинг состояния электросети и обнаружение неисправностей; интеграция с другими устройствами релейной защиты и автоматики [5].

### **Заключение**

Таким образом, применение микропроцессорной ДЗ в современном электроэнергетическом комплексе позволяет повысить надежность и безопасность электроснабжения, а также предотвратить развитие аварийных ситуаций, возникающих из-за КЗ и иных повреждений на ЛЭП. В работе рассмотрены основные принципы расчета уставок ДЗ, представлен пример выбора уставок данного устройства для конкретного типа ЛЭП, а также исследована проблема оценки влияния различных факторов на точность осуществляемого расчета. Как показал анализ, для обеспечения эффективной работы ДЗ необходимо регулярно проводить проверку и корректировку уставок в соответствии с изменениями параметров энергосистемы. В перспективе методика общего параметрирования ДЗ может быть усовершенствована с учетом развития интеллектуальных технологий и повышения требований к устойчивости энергообеспечения потребителей.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Подшивалин, А. Н. Основы методологии расчета уставок микропроцессорной релейной защиты / А. Н. Подшивалин, И. С. Подшивалина // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2010. – № 3. – С. 69-74. – EDN МТХКРФ.
2. Адаптивная дистанционная защита линии электропередачи / В. А. Ефремов, М. В. Мартынов, А. В. Буров, А. А. Гайдаш // Релейная защита и автоматизация. – 2015. – № 4(21). – С. 21-25. – EDN UXWPFT.
3. Расчет уставок современной дистанционной защиты / В. Г. Гарке, Е. А. Конова, В. М. Лопухов, Т. В. Васильева // Релейная защита и автоматизация. – 2011. – № 3(4). – С. 50-56. – EDN PVBHDUD.
4. Дони, Н. А. Новые предложения по выбору уставок блокировки дистанционной защиты при качаниях / Н. А. Дони, А. П. Малый, А. А. Шурупов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2017. – № 8. – С. 68-73. – EDN YMXEUO.
5. Рахматуллин, С. С. Разработка методов повышения эффективности распределения электроэнергии на основе концепции умных сетей электроснабжения / С. С. Рахматуллин, Ю. А. Аверьянова // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2021. – Т. 21, № 12. – С. 93-101. – EDN KOHJLV.

УДК 621.18

Ремденок Владимир Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Remdenok Vladimir Evgenievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Хвостиков Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Alexander Stanislavovich Khvostikov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department "Thermal power plants", Komsomolsk-na-Amure State University

## **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НА НЕПРОЕКТОМ ТОПЛИВЕ С БОЛЕЕ ВЫСОКОЙ ТЕПЛОТОЙ СГОРАНИЯ**

### **METHODS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF WORK ON NON-PROJECT FUELS WITH HIGHER CALORIFIC VALUE**

Аннотация. На сегодняшний день большинство котлов в стране, спроектированных ещё в прошлом столетии, сталкиваются с проблемой перехода на непроектное сжигание топлива, так как старые месторождения проектных углей исчерпали себя либо не имеют дальнейшей возможности на применение. Вследствие этого, при сжигании некоторых «новых» углей возникает проблема с повышенной температурой уходящих газов. Для снижения температуры в газоздушном тракте возможно применить изменение положения горелок, снижение температуры воздуха на входе в тракт, тангенциальное сжигание топлива, рециркуляцию дымовых газов и увеличение аэродинамического порога.

Annotation. Today, most boilers in the country, designed in the last century, face the problem of switching to non-project fuel combustion, since the old deposits of project coal have exhausted themselves or do not have further opportunities for use. As a result, when burning some "new" coals, there is a problem with the increased temperature of the exhaust gases. To reduce the temperature in the gas-air tract, it is possible to apply a change in the position of the burners, a decrease in the air temperature at the entrance to the tract, tangential combustion of fuel, flue gas recirculation and an increase in the aerodynamic threshold.

Ключевые слова: котельная установка, непроектный уголь, дымовые газы, способы регулирования температуры

Key words: boiler plant, non-project coal, flue gases, temperature control methods

#### **Введение**

Эффективность работы тепловой электрической станции является определяющим критерием при определении энергетических затрат на производство тепловой и электрической энергии. При этом основным видом топлива на тепловых электрических станциях является уголь, поскольку он обладает самыми большими запасами и является дешевым по отношению к другим видам топлива. В настоящее время топливо, поставляемое на тепловые электрические станции и являющееся непроектным, приходит с более высоким энергетическим потенциалом (калорийностью). Из-за этого уголь не успевает полностью отдать свою энергию и, как следствие, приводит к более низкой эффективности работы котельной установки.

При сжигании в паровых котельных установках непроектного угольного топлива с повышенной теплотой сгорания температура газов в топке увеличивается. Остается повышенной и температура газов на выходе из топки и в пароперегревателях. При этом повышается теплонпряженность поверхностей нагрева и, как следствие, снижается надежность энергетического оборудования [1].

#### **Основная часть**

Для снижения температуры газов в газоздушном тракте необходимо увеличить время их нахождения в топке. Рассмотрим способы, позволяющие реализовать данное решение.

Первый способ заключается в снижении уровня горелок и создания завихрений в топке. При этом время нахождения газов в топке увеличивается и большее количество

тепла успевает перейти к поверхностям нагрева. Основным недостатком данного способа – это повышение температуры в холодной воронке котла [3-5].

Второй способ заключается в применении топки с тангенциальным расположением горелок (в углах топочной камеры). Потоки топливоздушной смеси направляют к центру с небольшим отклонением от оси, так чтобы эти потоки образовывали завихрение. Первоначальный размер вихря в месте его образования не более метра. Далее образовавшийся вихрь начинает увеличиваться, формируя усеченный конус (рисунок 1). Вихрь обеспечивает смешение теплых и горячих зон уходящих газов, позволяя постоянно подогревать зоны с поверхностями нагрева, что обеспечивает большую отдачу тепла [2].

Образование вихря в топочной камере позволяет обеспечить качественное смешение топливоздушной смеси, что создает условия для полного сгорания топлива уже в топке. Полнота сгорания, в свою очередь, обеспечивает качественное удаление шлаков из топки, снижая шлакование поверхностей нагрева, что также увеличивает их тепловосприятие.

Третий способ заключается в использовании аэродинамического порога, устанавливаемого на большинстве паровых котлов и способствующего образованию вихря в топке и увеличению времени пребывания газов в топке. Увеличение размера аэродинамического порога приводит к отбрасыванию топочных газов, что увеличивает их пребывание в топке. Образовавшийся вихрь также улучшает сгорание топлива и уменьшает шлакование поверхностей нагрева. Увеличенный аэродинамический порог помимо образования вихря затемняет радиационные поверхности пароперегревателей, тем самым увеличивает конвективный теплообмен уходящих газов, снижая их температуру на выходе.

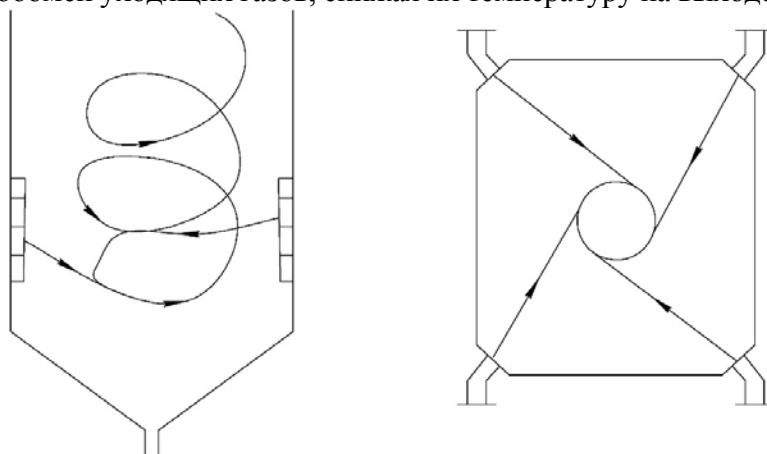


Рисунок 1 – Образование вихря топочных газов в топке с тангенциальными горелками

Тангенциальный способ сжигания и аэродинамический порог увеличивают скорость дымовых газов, что также влияет на износ поверхностей нагрева и, как следствие, надежность оборудования в целом.

Четвертым способом является рециркуляция дымовых газов, то есть отбор части уходящих газов из определённой точки конвективной шахты парового котла и возврат их в топочную камеру. Рециркуляция топочных газов позволяет осуществить регулирование температуры, что снижает тепловую нагрузку топочных экранов и, как следствие, уменьшает образование оксидов азота [4].

Снизить температуру в топке также можно с помощью подачи в топку холодного, не подогретого воздуха. Для этого изменяют схему газоздушного тракта, заменяя воздухоподогреватели ступенями экономайзера. Подача холодного воздуха снижает температуру в топке. Холодный воздух подогревается пламенем в топке, при этом температура топочных газов становится ниже.

### **Заключение**

Для снижения температуры газоздушного тракта при работе на непроектном топливе, применяют следующие методы: изменение положения горелок, снижение температуры воздуха на входе в тракт, тангенциальное сжигание топлива, рециркуляция дымовых газов и увеличение аэродинамического порога.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Агарков, О. В. Разработка критериев надежности и эффективности оборудования, работающего на непроектном топливе / О. В. Агарков, А. С. Хвостиков // Наука, ИННова-ции и технологии: от идей к внедрению : Материалы международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 февраля 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре: комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 417-419.

2. Осинцев, К. В. Расчетная модель топочного устройства с различными компоновками горелочных устройств / К. В. Осинцев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2014. – Т. 14, № 3. – С. 5-14. –

3. Леонтьев, В. И. Тепловой расчет барабанного парового котла с естественной циркуляцией: учебное пособие / В. И. Леонтьев, А. С. Хвостиков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Комсомольский-на-Амуре государственный университет". - Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре гос. ун-т, 2018. - 164 с.

4. Иванова, Е.С. Тепловой баланс парового котла. Поверочный рас-чёт парового котла / Е. С. Иванова. – Ухта: УГТУ, 2013. – 44 с.

5. Тепловой расчёт котлоагрегатов: Учеб. пособие / Акимов Ю.И., Васильев А. В., Антропова Г. В. Саратов. госуд. технич. университет, Сара-тов, 2006. 95 с.

УДК 621.565.93

Ротормель Оксана Юрьевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный уни-верситет

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

## ОЦЕНКА ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОПРОВОДОВ

### EVALUATION OF WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF STEAM PIPELINES

Аннотация. При проектировании и модернизации паропроводов основными критериями являются: схема системы паропроводов, конструктивные особенности паропровода, условия окружающей среды, параметры пара, величины потерь давления и тепловых потерь. В настоящей работе рассмотрены возможные пути повышения эффективности эксплуатации паропроводов.

Abstract. When designing and modernizing steam pipelines, the main criteria are: the scheme of the steam pipeline system, the design features of the steam pipeline, environmental conditions, steam parameters, pressure losses and heat losses. In this paper, possible ways to improve the efficiency of steam pipeline operation are considered.

Ключевые слова: паропровод, тепловые потери, повышение эффективности.

Keywords: steam line, heat loss, efficiency improvement.

#### Введение

В России система централизованного теплоснабжения является самой большой среди прочих стран, что позволяет обеспечивать значительные тепловые потребности различного назначения [1].

К особенностям эксплуатации тепловых сетей следует отнести суровый климат страны во многих регионах, что ставит задачу эффективной изоляции трубопроводов с целью снижения потерь тепловой энергии в зимний период.

Отечественная политика энергосбережения в деятельности любого предприятия определяет приоритетными мероприятия по снижению тепловых потерь трубопроводов систем теплоснабжения и мероприятия по оптимизации тепловых режимов эксплуатации таких систем.

Параметры пара в сети, в подающих паропроводах тепловых турбин, особенности эксплуатации могут различаться в зависимости от потребностей и режимов работы.

Особое значение оптимизация тепловых режимов получает при эксплуатации паропроводов систем пароснабжения и паропроводов теплоэнергетического оборудования, поскольку они значительно отличаются от сетей водоснабжения.

### **Основная часть**

Производственные сети паропроводов имеют сложную, разветвленную структуру. Такие сети состоят из нескольких потоков с резервными перемычками. Система пароснабжения полностью резервируется по источникам тепловой энергии и частично – по магистральным паропроводам.

Тепловой режим работы паропровода зависит от климатических, конструктивных, эксплуатационных, экономических факторов. Климатические факторы зависят от региона расположения предприятия и проявляются в виде погодных особенностей. Это изменение температуры наружного воздуха в течение года, продолжительность холодного периода, ветровое давление и пр.

В задачи оптимизации теплового режима паропровода входит принятие такого оперативного решения, которое учитывает все перечисленные факторы и которое приведет в результате к обеспечению заданного качества теплоносителя с минимальными энергетическими затратами. Оптимизация системы пароснабжения может быть режимной, связанной с выбором наилучших параметров теплоносителя, и конструктивной, такой, которая требует изменения диаметров трубопроводов, перекладки труб (надземная, подземная, в лотках) и т.п. В связи с этим, можно опираться на факторы по степени их влияния на тепловые режимы паропроводов и возможности управления ими при наладке и эксплуатации паровых сетей [2].

Климатические факторы не подлежат управлению [3], поэтому их следует учитывать при проектировании систем пароснабжения, а в процессе эксплуатации таких систем режимные параметры регулируются.

При этом, обслуживающий персонал не может влиять на величину стоимости топлива, материалов, оборудования и производимых энергетических ресурсов.

К факторам, определяющим конструкцию, можно отнести диаметры и длины паропроводов, характеристики запорно-регулирующей арматуры и других элементов паровой сети, способ прокладки паропроводов, свойства и конструкцию теплоизоляции. Теплоизоляция для паропровода играет важную роль в поддержании эффективности и безопасности работы системы пароснабжения [4].

Конструктивные показатели при проектировании выбираются с учетом опыта проектирования ( типовые проекты), надежности системы теплоснабжения, энергетической эффективности, минимизации капитальных затрат при вводе системы теплоснабжения в эксплуатацию. Через определенный срок эксплуатации происходит изменение конструктивных показателей в результате реконструкции, модернизации и технических преобразований системы теплоснабжения. Эксплуатационные факторы имеют важное значение, так как определяют надежность и эффективность работы теплогенерирующих предприятий и могут обеспечиваться во время эксплуатации персоналом в пределах, близких к оптимальным.

### **Заключение**

1. При снижении нагрузки паропровода происходит уменьшение скорости течения пара, что приводит к повышению потерь температурного уровня пара и влечет за собой: а) снижение теплосодержания пара; б) возможное образование конденсата в паропроводе, что негативно влияет на надежность системы пароснабжения.

2. При повышении расхода пара более расчетного на участке трубопровода падение температурного уровня уменьшается, что является благоприятным явлением, по-

сколькo снижает вероятность образования конденсата. Как следствие, увеличивается тепловой потенциал пара при достижении им потребителя;

3. Повышение расхода пара более расчетного на участке трубопровода приводит к повышению гидравлического сопротивления, это является отрицательным фактором, поскольку приводит к повышению затрат на транспортировку пара.

4. Важной задачей проектирования теплосети является оптимальное соотношение скорости движения пара и диаметра трубопровода, при которых энергетические потери пара будут минимальными.

5. За счет уменьшения теплопотерь теплоизоляция повышает эффективность работы паровой системы. Меньшие потери тепла означают, что больше тепла остается внутри паропровода, что может быть особенно важно при передаче пара на длинные расстояния или при работе на высоких температурах.

6. Теплоизоляция предотвращает образование конденсата на внутренней поверхности паропровода. Теплый пар взаимодействует с холодной окружающей средой, что может привести к конденсации влаги. Это не только уменьшает эффективность системы, но также может привести к коррозии и повреждению паропровода [5].

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 9-е изд., – Москва.: Издательство МЭИ. – 2009. – 472 с.

2. Яковлев, Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б.В. Яковлев. – Минск: АiВ, 2002. – 447 с.

3. СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99\*». Строительная климатология : дата введения 2021-06-25 / Минстрой России. – Москва : ЦИТП Минстроя России, 2021 – 124 с.

4. СП 61.13330.2012 «СНиП 41-03-2003». Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов : дата введения 2013-01-01 / Министерство Регионального развития Российской Федерации. – Москва : Издательство Минрегион России, 2012 – 56 с.

5. СТП 09110.20.328-08 Инструкция по проведению оценки интенсивности процесса внутренней коррозии в тепловых сетях – ГПО "Белэнерго", Минск., 2008 – 34 с.

УДК 629.423 : 62-83 + 06

Рудева Елизавета Денисовна, студент, Ростовский государственный университет путей сообщения

Rudeva Elizaveta Denisovna, Student, Rostov State Transport University

Шевкунова Анастасия Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Ростовский государственный университет путей сообщения

Shevkunova Anastasiya Vladimirovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor Rostov State Transport University

#### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СТАЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

#### **EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE PROPERTIES OF ELECTRICAL STEELS ON THE EFFICIENCY OF THE SWITCHED RELUCTANCE MOTOR**

Аннотация. Проведен анализ используемых активных материалов для изготовления магнитопровода вентильно-индукторного двигателя. Выполнена оценка влияния различных марок электротехнических сталей на значения электромагнитных сил. Построены соответствующие графики зависимостей и сделаны выводы.

Abstract. The analysis of the active materials used for the manufacture of a magnetic circuit of a switched reluctance motor is carried out. The influence of various grades of electrotechnical steels on the values of electromagnetic forces has been evaluated. The corresponding dependency graphs are constructed and conclusions are drawn.

Ключевые слова: вентильно-индукторный двигатель, магнитная система, электротехническая сталь, электромагнитные силы.

Key words: switched reluctance motor, magnetic system, electrical steel, electromagnetic forces.

### **Введение**

В настоящее время наибольшее распространение во многих областях промышленности и производства получили регулируемые электроприводы, основа работы которых заключается в использовании современной силовой полупроводниковой техники. К таким типам электроприводов относится вентильно-индукторный (ВИП). Электродвигатель, входящий в структуру интегрированного электромеханического преобразователя энергии получил название вентильно-индукторный двигатель (ВИД) или вентильный реактивный электродвигатель (РВЭД) [1]. Ввиду таких преимуществ как простота конструкции, относительно низкая стоимость, надежность, ремонтпригодность, отказоустойчивость и отличные эксплуатационные характеристики, ВИД стали конкурировать с электродвигателями асинхронного типа и с синхронными двигателями с постоянными магнитами. Они находят свое применение в высокоскоростных, высокотемпературных и критически важных для безопасности областях [2].

Несмотря на перечисленные преимущества по сравнению с традиционными машинами переменного тока, неотъемлемыми недостатками ВИД являются акустический шум и значительные пульсации крутящего момента. В ВИД сила притяжения к ротору подразделяется на тангенциальную силу и радиальную силу. Тангенциальная сила преобразуется в крутящий момент, а радиальная сила приводит к вибрации корпуса статора. При неравномерном воздушном зазоре между статором и ротором, возникающем ввиду наличия эксцентриситета, электромагнитное поле вызывает одностороннюю радиальную силу, направленную в сторону наименьшего значения воздушного зазора. Возникший дисбаланс радиальных электромагнитных сил оказывает самое негативное влияние на работу и надежность двигателя. Данная сила получила название «одностороннее магнитное притяжение» (ОМП). Учеными-исследователями ведется активная работа по минимизации и устранению данных явлений [3, 4].

Научно доказано, что показатели эффективности работы электрической машины напрямую зависят от свойств материалов, из которых они изготавливаются. Магнитная система ВИД изготавливается из активных материалов, а именно из электротехнических сталей. Они являются хорошими проводниками магнитного потока и создают необходимую степень концентрации магнитного поля для эффективной работы.

Для изготовления статора и ротора ВИД, работающего в высокочастотных переменных полях, применяются ферромагнитные магнитомягкие материалы с узкой петлей гистерезиса [5]. Характерным свойством таких материалов является низкий остаточный магнетизм и способность к намагничиванию с минимальными потерями на гистерезис. С целью получения необходимых характеристик электродвигателей в стали добавляют легирующие элементы и примеси [6]. Одним из важных преимуществ таких сталей является нелинейный характер зависимости кривой намагничивания. Для оценки ферромагнетика в переменном магнитном поле используют коэффициент, называемый динамической магнитной проницаемостью ( $\mu_r$ ) и представляющий собой отношение амплитудного значения магнитной индукции ( $B$ , Тл) к амплитудному значению напряженности магнитного поля ( $H$ , А/м).

### **Основная часть**

Рассмотрим основные марки листовой электротехнической стали, используемые для изготовления магнитопроводов электрических машин (2013, 3413, 2312, 1411, 2411). Проведем анализ влияния каждой стали на значения электромагнитных сил.

В качестве объекта исследования был взят двигатель с конфигурацией магнитной системы 12/8 и следующими техническими данными:  $P_{ном} = 1300$  кВт;  $U_d = 2200$  В;  $n_{ном} = 1766$  об/мин. Расчеты магнитной системы производились в программе FEMM без смеще-

ния ротора. На рисунке 1 представлены графики, отражающие результаты расчета электромагнитных сил в предположении, что магнитопровод выполнен из различных марок стали.

Сталь 2013. Удельные магнитные потери составляют 2,8 Вт/кг. Плотность стали 7820 кг/м<sup>3</sup>, удельное электрическое сопротивление  $0,14 \cdot 10^{-6}$  Ом × м. Динамическая магнитная проницаемость  $\mu_r = 8,2 \cdot 10^{-6}$  Н/А<sup>2</sup>.

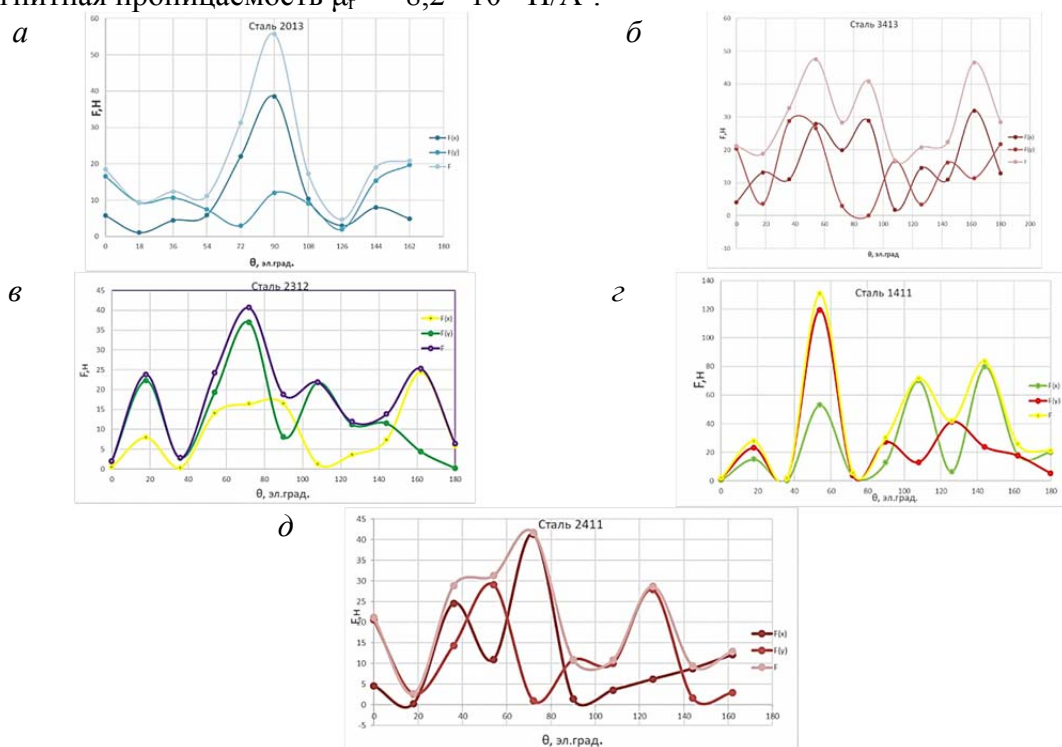


Рисунок 1 – Зависимость сил от угла поворота ротора

Сталь 3413. Плотность стали 7650 кг/м<sup>3</sup>, удельное электрическое сопротивление  $0,5 \cdot 10^{-6}$  Ом × м. Динамическая магнитная проницаемость  $\mu_r = 12,5 \cdot 10^{-5}$  Н/А<sup>2</sup>.

Сталь 2312. Плотность стали 7700 кг/м<sup>3</sup>, удельное электрическое сопротивление  $0,4 \cdot 10^{-6}$  Ом·м. Удельные магнитные потери 1,7 Вт/кг. Динамическая магнитная проницаемость  $\mu_r = 7,8 \cdot 10^{-6}$  Н/А<sup>2</sup>.

Сталь 1411. Плотность стали 7650 кг/м<sup>3</sup>, удельное электрическое сопротивление  $0,5 \cdot 10^{-6}$  Ом·м. Динамическая магнитная проницаемость  $\mu_r = 5,9 \cdot 10^{-6}$  Н/А<sup>2</sup>.

Сталь 2411. Плотность стали 7600 кг/м<sup>3</sup>. Плотность стали 7600 кг/м<sup>3</sup>.

Удельное электрическое сопротивление  $0,5 \cdot 10^{-6}$  Ом·м. Динамическая магнитная проницаемость  $\mu_r = 5,7 \cdot 10^{-6}$  Н/А<sup>2</sup>.

### Заключение

Наибольшее значение динамической магнитной проницаемости имеет сталь марки 3413 ( $\mu_r=12,5 \cdot 10^{-5}$  Н/А<sup>2</sup>). Это означает, что магнитопровод, изготовленный из данного материала создаст возможность получения наибольшего крутящего момента при увеличенных значениях магнитной индукции и низких значениях напряженности. Однако, ввиду того, что при расчетах динамической магнитной проницаемости были использованы значения кривой намагничивания электротехнической стали согласно информации завода-изготовителя ( $B = 2,0$  Тл,  $H = 16000$  А/м), значения индукции, превышающие имеющиеся данные, получены методом экстраполяции и могут носить некорректный характер. Вместе с данным обстоятельством, анализируя полученные графики, наиболее предпочтительной является сталь 2013. Несмотря на скачок силы  $F_y$  при 90 эл.град., диапазон колебаний остальных значений сил по осям x и y не значителен.

Для представления конкретных рекомендаций изготовителям магнитопроводов ВИД необходимо произвести дополнительные исследования данных марок стали при наличии эксцентриситета ротора при различном процентном отклонении от номинальной величины.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Туан, Н.М. Основные достоинства реактивно-вентильных электродвигателей по сравнению с традиционными электродвигателями / Н.М. Туан, Н.Ч. Хай // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – Вып. 8. – С. 184–187.
2. Morimoto, S. ‘Experimental evaluation of a rare-earth-free PMSynRM with ferrite magnets for automotive applications / S. Morimoto, S. Ooi, Y. Inoue, M. Sanada // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2014. – vol. 61, no. 10. – Pp. 5749–5756.
3. Чавычалов, М.В. Оптимизация формы зубца ротора вентильно-индукторной электрической машины / М. В. Чавычалов, А. В. Шевкунова, Н. М. Яицкова // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2023. – № 4. – С. 119–126.
4. Кашуба, А.В. Усовершенствование алгоритма проектирования вентильно-индукторных машин / А.В. Кашуба, А.В. Шевкунова // Вестник Чувашского университета. – 2021. – № 3. – С. 140–155.
5. Богородицкий, Н.П. Электротехнические материалы / Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев ; под ред. Н.Н. Богородицкого. – Л. : Энергия, 1977. – 352 с.
6. Особенности и физические принципы влияния добавок кремния на свойства стали / А.Н. Маковецкий, Д.А. Мирзаев, А.А. Мирзоев, К.Ю. Окишев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 38–48. DOI: 10.14529/met170404

УДК 621.365

Тураков Игорь Андреевич студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Turakov Igor Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

## СТЕНД ПОВЕРКИ ШУНТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА

### (AC SHUNTS TESTING STAND FOR ELECTRIC HEATING INSTALLATION)

Аннотация. В данной работе был рассмотрен стенд поверки шунтов переменного тока для установок электронагрева. Предложена конструкция источника питания шунтов током до 10кА на базе трансформатора, работающего в режиме короткого замыкания. Приведена электрическая схема стенда и результаты расчетов трансформатора-индуктора для двух вариантов подключения к однофазной и трехфазной сети. Сделан расчет параметров шунта на базе медной шины сечением 2880 мм<sup>2</sup>.

Abstract. In this paper, a test bench for AC shunts for electric heating installations was considered. The design of a shunt power supply with a current of up to 10kA based on a transformer operating in short circuit mode is proposed. The electrical diagram of the stand and the calculation results of the transformer-inductor for two connection options to a single-phase and three-phase network are presented. The shunt parameters are calculated on the basis of a copper busbar with a cross section of 2880 mm<sup>2</sup>.

Ключевые слова: шунты переменного тока, стенд поверки шунтов, трансформатор-индуктор, измерительный трансформатор тока.

Key words: AC shunts, shunt verification stand, transformer-inductor, current measuring transformer.

### Введение

Проблема создания точных шунтов переменного тока высокой и средней точности (классы точности 0,001 – 0,1) в настоящее время весьма актуальна. Высокоточные шунты, как правило, имеют специальную конструкцию и требуют специальных методов расчета при оценке их метрологических характеристик. Основное требование к шунтам переменного тока (ШПТ) - возможность измерять ток в электроцепях без влияния на работу самой цепи. Это позволяет получить точные и надежные показания тока, что необходимо для исследования электрических систем и контроля производственных процессов [1,8].

Цель данной работы - разработать конструкцию стенда поверки ШПТ с питанием переменным током до 10 кА и выше.

### Основная часть

При контроле процесса нагрева заготовок прямым пропусканием тока возникает проблема выбора средств измерения больших переменных токов [2]. При сравнении измерительных трансформаторов тока (ИТТ) и ШПТ следует отметить более высокую надежность и низкую стоимость последних. Исходя из этого был разработан стенд поверки ШПТ шинной конструкции. Такие шунты предназначены для измерения переменных токов свыше 10 кА. Трудности расчета точных шунтов переменного тока связаны с учетом погрешностей от эффекта вытеснения тока из проводника при частоте 50 Гц и выше. Поверка шунта на стенде, подключаемого к сети 50 Гц, позволяет учитывать действие этого эффекта. Принцип работы стенда основан на индуцировании рабочего тока во вторичной обмотке трансформатора, работающего в режиме короткого замыкания [3,6]. При этом поверяемый шунт включается последовательно во вторичную цепь трансформатора - индуктора (ТР-И). Мощность ТР-И на стенде ограничивается мощностью питающей сети, для однофазной сети это около 3 - 3,5 кВА.

Электрическая схема установки представлена на рисунке 1.

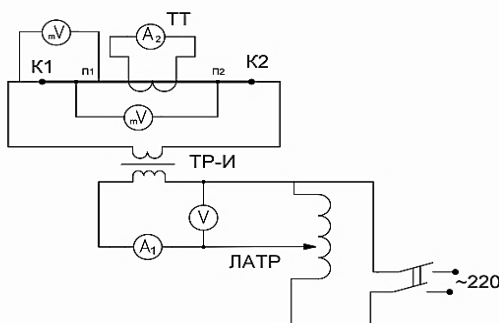


Рисунок 1 – Электрическая схема установки

На схеме: K1 и K2 – точки подключения шунта; П1-П2 – точки подключения милливольтметра; mV – милливольтметр; ТР-И – трансформатор – индуктор; A1 – амперметр первичного тока; A2 – амперметр вторичного тока (через ИТТ); ИТТ – измерительный трансформатор тока; ЛАТР – лабораторный автотрансформатор.

Стенд (рисунок 2) состоит из следующих элементов: шунт переменного тока 1, замыкающий шинный контур 2, измерительный трансформатор тока 3, трансформатор-индуктор 4, подставки из диэлектрика 5, металлические скобы для крепления контура 6.

Вторичный ток ТР-И замыкается через шунт, на котором монтируется измерительный трансформатор тока ТТ. Падение напряжения на шунте фиксируется милливольтметром V1. Падение напряжения в контактах шунта с шинами фиксируется милливольтметром V2. Для регулировки напряжения питания и тока через шунт служит ЛАТР на входе в ТР-И.

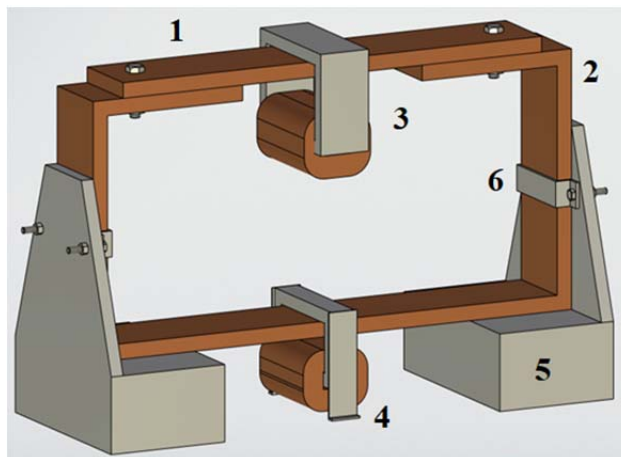


Рисунок 2 – Компоновка конструкции стенда

В процессе разработки стенда был сделан электромагнитный расчет трансформатора ТР-И (таблица 1), расчет ИГТ на 30кА (таблица 2), расчет зависимости падения напряжения  $\Delta U_{Ш}$  на ШПТ от тока (рисунок 3) [4,5,7].

Таблица 1 – Результаты расчета трансформатора - индуктора

Параметр	Значение для 1- фазного ТР-И	Значение для 3- фазного ТР-И
Напряжение $U$ , В	220	380
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	0,9	0,95
Число витков $W1$	750	970
Первичный ток $I_1$ , А	9,57	9,695
Вторичная мощность $P_2$ , Вт	1890	3327
Вторичная ЭДС $E_2$ , В	0,278	0,37
Вторичный ток $I_2$ , А	6800	8911
Масса $m_{общ}$ , кг	11	16

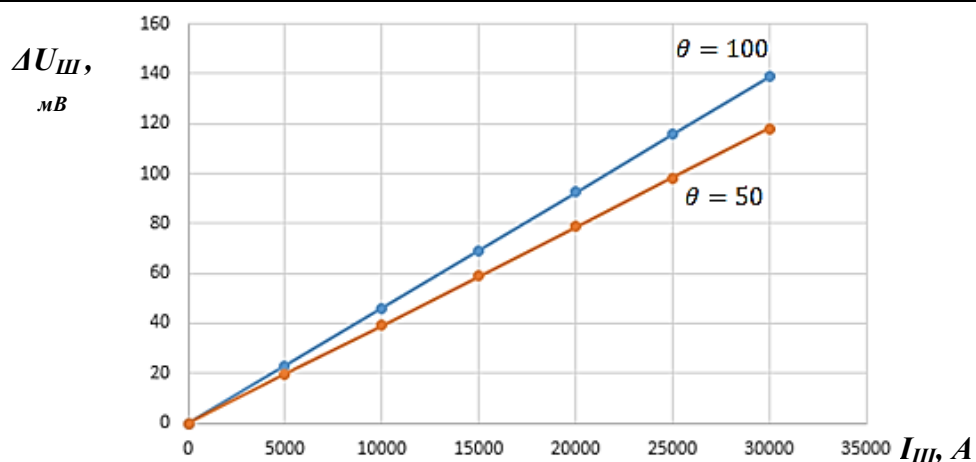


Рисунок 3– Зависимости  $\Delta U_{Ш}(I_{Ш})$  при температуре шунта 50 и 100 °С.

### Заключение

В ходе исследования работы нагревательных электроустановок был разработан экспериментальный стенд поверки шунтов с питанием переменным током до 10 кА и с возможностью регулировки тока.

Максимальное значение рабочего тока поверочного стенда ограничивается мощностью питающей сети. При питании от сети 220 В – ограничение тока составило 7 кА, от сети 380 В – 10 кА.

При расчете стенда для получения максимального вторичного тока необходимо учитывать сечение используемых медных шин и их сопротивление. Произведённые расчеты стенда сделаны для двух сечений медных шин рабочего контура 1440 мм<sup>2</sup> и 2880 мм<sup>2</sup>. При этом рекомендуется использовать в качестве измерительных шунтов шины токоподвода электронагревательных установок, что существенно снизит стоимость системы контроля тока, протекающего через заготовки.

На базе разработанного стенда поверки ШПТ возможны исследования переходных сопротивлений и тепловых процессов в точках контактирования шин.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева - Москва: Энергия, 1977. – 343 с
2. Смирнов, М. А. Основы термической обработки стали / М. А. Смирнов, В. М. Счастливцев, Л.Г. Журавлёв. – Москва: Наука и технологии, 2002. – 519 с.
3. Новиков Ю. Н. Теория и расчет электрических аппаратов. Ленинград, 1970. – 328 с.



4. Бачурин, Н. И. Трансформаторы тока: расчеты и конструкции / Н. И. Бачурин. – Москва : Изд-во «Энергия», 1960. – 376 с
5. Размыслов, В. А. Электрорадиаторы трансформаторного типа: учеб. пособие / В. А. Размыслов, А. В. Сериков. – Комсомольск – на – Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2005. – 48с.
6. Чунихин, А.А. Электрические аппараты: общий курс. Учебник для вузов – 3-е изд. перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат. 1988. – 721 с.
7. Афанасьев, В. В. Трансформаторы тока. / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кибель. – 2-е изд., перераб. И доп. – Ленинград : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 416 с.
8. Векслер, М. С. Шунты переменного тока. / М. С. Векслер, А. М. Теплинский, - Ленинград : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 120 с.

УДК 621.165

Хокимов Абубакр Амирбекович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Khokimov Abubakr Amirbekovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Хвостиков Александр Станиславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Alexander Stanislavovich Khvostikov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the department "Thermal power plants", Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ Т-55-130**

### **IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE T-55-130 STEAM TURBINE UNIT**

Аннотация. В работе рассмотрены способы повышения эффективности тепловой схемы паровой турбины Т-55-130. В качестве основных направлений модернизации были выявлены замена поверхностных регенеративных подогревателей низкого давления на смешивающие и установка дополнительных дренажных насосов, перекачивающих основной конденсат на подогреватели более высоких параметров.

Abstract. The paper considers ways to increase the efficiency of the thermal circuit of the T-55-130 steam turbine. The main directions of modernization were identified as the replacement of surface regenerative low-pressure heaters with mixing ones and the installation of additional drainage pumps pumping the main condensate to heaters of higher parameters.

Ключевые слова: паровая турбина, регенеративная схема подогрева основного конденсата, смешивающие подогреватели, дренажный насос, эффективность.

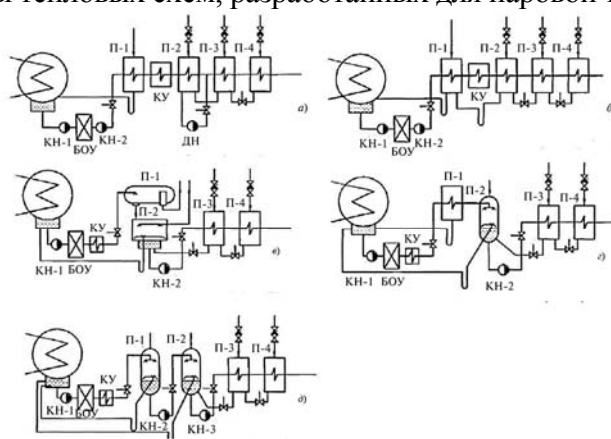
Key words: steam turbine, regenerative heating scheme of the main condensate, mixing heaters, drainage pump, efficiency.

#### **Введение**

Тепловая схема паровой турбины Т-55-130 включает в себя подогреватели высокого давления, деаэрактор, подогреватели низкого давления и перекачивающие конденсатные и питательные насосы. Эффективность регенеративных подогревателей зависит от их количества, вида, и способа их включения. Повышение эффективности тепловой схемы возможно вплоть до применения отборов после каждой ступени паровой турбины. Однако, при увеличении числа отборов больше семи (с тремя подогревателями высокого давления, деаэратора и четырьмя подогревателями низкого давления) растут потери на транспортировку пара и металлоемкость энергоустановки, делая дальнейшее увеличение числа отборов нецелесообразным.

## Основная часть

Основные решения по модернизации тепловых схем паротурбинных установок направлены на изменение систем регенерации низкого давления. На рисунке 1 представлены основные варианты тепловых схем, разработанных для паровой турбины Т-55-130 [1].



П1, П2, П3, П4 – подогреватели низкого давления 1, 2, 3 и 4 ступеней; КН-1, КН-2, КН-3 – конденсатные насосы 1, 2, 3 ступеней; ДН - дренажный насос; КУ – конденсатор уплотнений; БОУ – блочная обессоливающая установка.

Рисунок 1 – Тепловые схемы регенерации низкого давления паровых турбин

Первоначально, в тепловой схеме регенерации низкого давления паровой турбины Т-55-130 предусмотрено четыре поверхностных подогревателя низкого давления с каскадным сливом дренажа. Однако, при вводе дренажа в подогреватель более низкого давления часть воды вскипает, что приводит к вытеснению рабочего пара и снижает экономичность схемы регенерации. Применяемые конденсатные насосы КН-1, КН-2, КН-3 хотя и вызывают затраты на собственные нужды, но уменьшают отборы на подогреватели, что, в целом, увеличивает экономичность установки.

Повышение экономичности возможно путем замены поверхностных регенеративных подогревателей на смешивающие. У смешивающих подогревателей отсутствует недогрев воды, вследствие чего воду можно подогреть до большей температуры, используя меньшие отборы пара (рисунок 1 в-д). В качестве смешивающих подогревателей наиболее эффективно использовать подогреватели, идущие после деаэрата: П1 и П2.

Преимуществами смешивающих подогревателей, по сравнению с поверхностными, являются меньшая металлоемкость и ремонтные затраты, вследствие исключения таких факторов как разрыв трубок и их загрязнение. Кроме того, при использовании смешивающих подогревателей уменьшаются загрязнения питательного тракта оксидами железа и меди. Применение смешивающих подогревателей увеличивает деаэрирование воды питательного тракта, что значительно повышает надежность энергоблока в целом. При использовании смешивающих регенеративных подогревателей также необходима установка насосов для повышения давления до значений следующего отбора [2, 4].

Также в схеме регенеративного подогрева необходимо выбрать место установки конденсатора пара уплотнений и рассмотреть возможность дополнительной установки блочной обессоливающей установки. Конденсатор пара уплотнений может устанавливаться после регенеративного подогревателя низкого давления поверхностного типа или после деаэрата при использовании смешивающих регенеративных подогревателей.

В качестве еще одного направления модернизации тепловой схемы можно рассматривать применение бездеаэраторных тепловых схем. Функции деаэрата могут взять на себя смешивающие подогреватели. Отказ от деаэрата позволяет существенно упростить тепловую схему за счет сокращения длины трубопроводов и средств автоматики и регулирования [3, 5].

## **Заключение**

Для повышения эффективности регенеративных подогревателей необходимо рассмотреть замену поверхностных регенеративных подогревателей низкого давления на смешивающие и установку дополнительных дренажных насосов перекачивающий основной конденсат на подогреватели более высоких параметров.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Сухоруков, Ю. Г. Некоторые вопросы повышения экономичности системы регенерации низкого давления паровых турбин / Ю. Г. Сухоруков, В. Ф. Ермолов, Н. Н. Трифонов // Теплоэнергетика. – 2008. – № 12. – С. 62-65.
2. Амирбеков, А. К. Применение подогревателя низкого давления смешивающего типа в схемах паротурбинных установок тепловых электрических станций / А. К. Амирбеков, Т. Н. Базаров // Студенческий. – 2019. – № 1-4(45). – С. 46-49.
3. Тарасов, Е. В. Оптимизация бездеаэрационной тепловой схемы паротурбинной установки с теплообменными аппаратами смешивающего типа / Е. В. Тарасов, А. А. Жиннов // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № 2(12). – С. 56-63.
4. Пухов, А.А., Шаломов, В.И. Исследование возможности модернизации тепловой схемы энергоблока на базе турбины Т-180/210-130 с целью повышения тепловой экономичности // 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. 312-315.
5. Пиголицына, Э.А., Малыхин, А.А. Исследование эффективности применения бездеаэрационных тепловых схем с турбоустановками Т-255/305-23,5 // 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. 303-306.

УДК 621.316.72

Хусаинова Аделя Фаритовна, студент, Казанский государственный энергетический университет

Khusainova Adelya Faritovna, student, Kazan State Power Engineering University

Маклецов Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный энергетический университет

Makletsov Alexander Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State Power Engineering University

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАТИВНОГО УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4-10 КВ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ ПУНКТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

## **ENSURING A STANDARD VOLTAGE LEVEL IN 0.4-10 kV ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS BY INSTALLING AUTOMATIC VOLTAGE REGULATION POINTS**

Аннотация. В статье рассматривается способ нормализации уровня напряжения в распределительных электрических сетях 0,4-10кВ с помощью установки пунктов автоматического регулирования напряжения (ПАРН), состоящих из вольтодобавочных трансформаторов.

Abstract. The article discusses a method for normalizing the voltage level in 0.4-10 kV electrical distribution networks by installing automatic voltage control points (AVR), consisting of booster transformers.

Ключевые слова: распределительные электрические сети, регулирование напряжения, устройство автоматического регулирования напряжения, отклонение напряжения, вольтодобавочный трансформатор

Key words: electrical distribution networks, voltage regulation, automatic voltage regulation device, voltage deviation, booster transformer

### Введение

Одной из важных задач для электросетевых компаний является соблюдение нормативного уровня напряжения. Распределительные электрические сети напряжением 10 кВ характеризуются наличием большого количества понижающих подстанций и значительными расстояниями до конечных потребителей, достигающими нескольких десятков километров. Устаревшие линии электропередачи уже не могут обеспечить необходимую пропускную способность, что приводит к снижению напряжения у потребителей за пределы допустимого уровня [2].

### Основная часть

Путем модернизации существующих электрических сетей возможно восстановить показатели качества электроэнергии до установленных ГОСТом 32144-2013 значений [1]. Однако такие действия (монтаж проводов большего сечения, увеличение мощности трансформаторов) связаны с дополнительными финансовыми затратами.

В последние годы компаниями на рынке электрооборудования предлагается решение проблемы обеспечения нормативных показателей качества электроэнергии у потребителей распределительной электрической сети путем применения пунктов автоматического регулирования напряжения (ПАРН) для напряжений 10 кВ, а также вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ), которые предназначены к установке в сетях напряжением 0,4 кВ. Исследование нового оборудования для сетей, сравнение его эффективности с традиционными методами нормализации качества электроэнергии, а также обоснование экономической целесообразности выбора такого технического решения требуют серьезного научного анализа [3].



Рисунок 1 – Схема электроснабжения в упрощенном виде

Установка ПАРН, включающего в себя вольтодобавочные трансформаторы, обеспечивающие качественную передачу электроэнергии потребителям, является эффективным решением, не требующим проведения длительных и затратных мероприятий по модернизации существующей электрической сети. С учетом максимальной эффективности регулирования напряжения не рекомендуется размещать ПАРН рядом с потребителем [4]. Оптимальным решением является установка ПАРН на ЛЭП около точки, на которой отклонение напряжения от установленного значения составляет приблизительно 10% [3]. Однако предприятия предпочитают размещать ПАРН в пределах балансовой принадлежности из соображений безопасности и удобства обслуживания. Размещение ПАРН ближе к потребителям также способствует обеспечению надежных каналов связи для телемеханики.

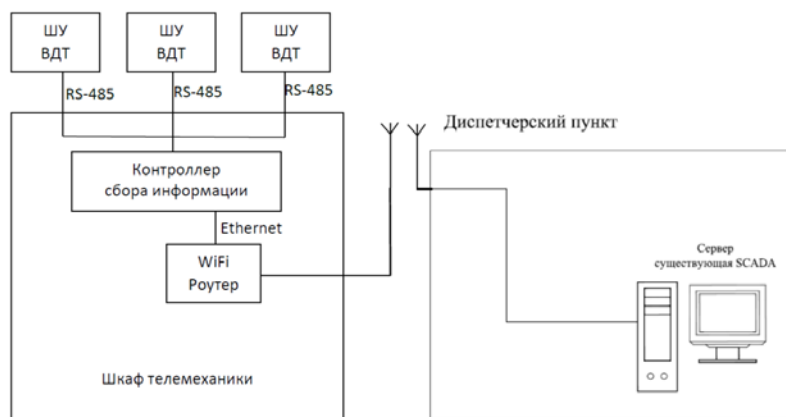


Рисунок 2 – Структурная схема связи по проводному каналу связи

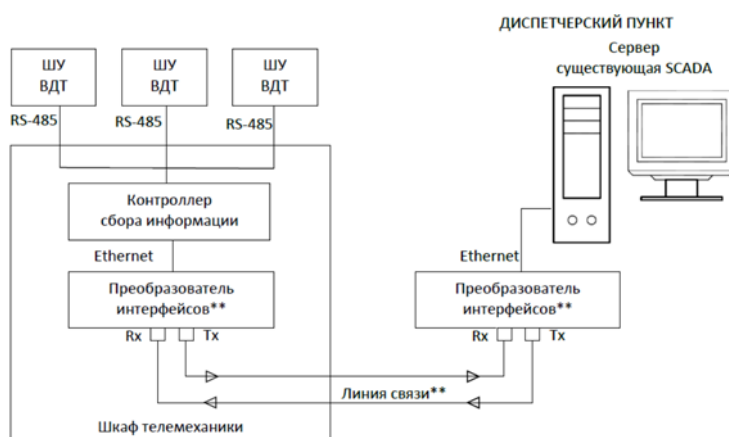


Рисунок 3 – Структурная схема связи по беспроводному каналу

### Заключение

Таким образом, применение пунктов автоматического регулирования напряжения, состоящих из вольтдобавочных трансформаторов, приводит параметры качества электроэнергии согласно требованиям ГОСТа 32144—2013. Это позволяет сетевым компаниям в короткие сроки и с меньшими затратами устранить отклонения напряжения.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 32144—2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Абдуллазянов Э.Ю., Ахметшин А.Р. «Выбор оптимального решения для обеспечения нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ». Вестник Иркутского Государственного Технического Университета, № 6(53), год 2011, с. 113-119.
3. Перинский Т.В. Увеличение пропускной способности ВЛ 6-10 кВ. Сборник трудов третьей научно-практической конференции «Линии электропередач 2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс». 2008. С 226-228.
4. Ярмухаметов Р.В., Костюченко Л.П. «Оценка влияния Пунктов автоматического регулирования напряжения на повышение пропускной способности сети 10 кВ». Материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых. Инновационные тенденции развития российской науки 2015., с. 173-176
5. Карташев И.И. и др. Управление качеством электроэнергии. М.: Издат. дом МЭИ, 2008.

УДК 621.314.2

Цыкунова Анна Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Tsykunova Anna Andreevna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРОБЛЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК**

### **THE PROBLEM OF VOLTAGE REGULATION IN THE ELECTRICAL BILLET HEATING SYSTEM**

Аннотация. В работе рассматривается проблема регулирования выходной мощности трансформатора ввиду необходимости обеспечения контроля электрических и тепловых параметров, а именно тока, протекающего по заготовке и температуры её нагрева. В качестве регулирования процесса нагрева в электротехнической системе нагрева заготовок, предложено использовать тиристорный преобразователь, питающий от трехфазной сети однофазный печной трансформатор. При анализе предложенного способа регулирования напряжения определены его преимущества перед иными преобразователями.

Abstract. The paper examines the problem of regulating the output power of a transformer due to the need to ensure regulation of electrical and thermal parameters, namely the temperature of the workpiece. To regulate the heating process in the electrical system for heating workpieces, it is proposed to use a thyristor converter that supplies a single-phase furnace transformer from a three-phase network. When analyzing the proposed method of voltage regulation, its advantages over other converters were determined.

Ключевые слова: однофазный печной трансформатор, тиристорный регулятор, электротехническая система.

Key words: single-phase furnace transformer, thyristor regulator, electrical system.

#### **Введение**

В работе [1] предложена электротехническая система нагрева заготовки перед штамповкой. В установке нагрева заготовки используется печной трансформатор типа ОЭСК-250/40. Анализ режимов работы трансформатора при подключении к его вторичной обмотке заготовок различных геометрических размеров показал, что в некоторых случаях происходит срабатывание тепловой защиты, что приводит к отключению трансформатора от сети с помощью автоматического выключателя. В этих случаях заготовка не нагревается до необходимой для качественной штамповки температуры [2]. Таким образом, качественный нагрев и поддержание требуемой температуры заготовки невозможно осуществить без регулирования процесса нагрева.

Целью данной работы является формирование подхода к регулированию выходной мощности трансформатора, которая основана на использовании силовых преобразовательных устройств.

Задачи работы:

1. Привести обоснование выбора силового тиристорного преобразователя для электротехнической системы нагрева заготовок перед штамповкой.
2. Рассмотреть преимущества предложенного преобразователя перед другими типами преобразователей.

#### **Основная часть**

Для управления мощностью нагрузки широко используются полупроводниковые преобразователи на базе силовых тиристоров [3]. На рисунке 1 показано использование тиристорного коммутатора в рассматриваемой электротехнической системе нагрева заготовок.

Тиристорные схемы получили широкое распространение еще в 70-е годы прошлого века благодаря своей надежности и высокому КПД. Эти качества в сочетании с невысокой ценой делают тиристорный регулятор мощности оптимальным решением для задач регулирования в современных системах промышленной автоматизации [4]. В

этом случае для управления мощностью используются полупроводниковые элементы – тиристоры (рисунок 1).

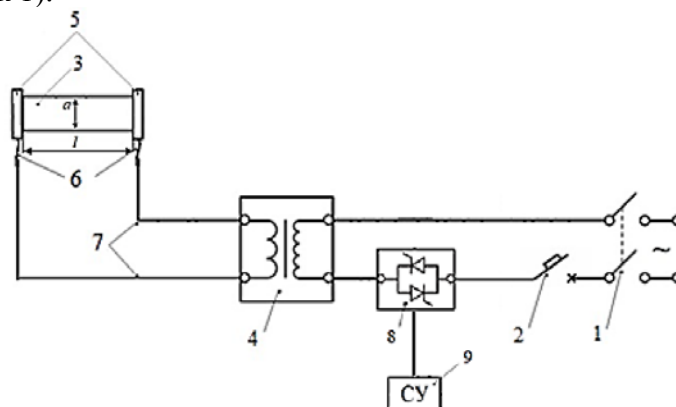


Рисунок 1 – Электротехническая система нагрева металлических заготовок с тиристорным регулированием напряжения

При замыкании выключателя сети 1 и автоматического выключателя 2, на заготовку 3 подается пониженное с помощью трансформатора 4 напряжение, по заготовке течет ток большой величины, что приводит к ее нагреву. Заготовка крепится в установке при помощи контактного аппарата 5. Рабочий ток к заготовке подводится через контактные аппараты, к которым через болтовое соединение крепятся токоподводы 6, которые соединяются со вторичной обмоткой трансформатора через шинопроводы 7. Регулирование напряжения на первичной обмотке трансформатора осуществляется с помощью тиристорного коммутатора (регулятора напряжения) 8. В случае отклонения параметров нагрева, система управления 9 получает сигналы с датчиков и формирует сигнал управления для регулятора напряжения.

Основные преимущества тиристорного регулирования:

1. Способность тиристоров коммутироваться с частотой сети, то есть 100 раз в секунду, обеспечивает высокое быстродействие для поддержания более точной температуры.
2. Возможность ограничения токов намагничивания и пусковых токов трансформатора за счет фазоимпульсного управления тиристорами.
3. Снижение затрат на обслуживание трансформатора из-за отсутствия механических контактов.
4. Способность поддержания температуры сопровождается экономией электроэнергии [5].

Системы управления современных тиристорных регуляторов строятся на основе микропроцессорной техники и представляют потребителю широкий набор сервисных функций.

Так как, мощность нагревательной установки достаточно высокая, поэтому при использовании однофазного регулятора возникает неравномерная нагрузка фаз, что ухудшает работу других потребителей. В этом случае целесообразно использовать преобразователь трехфазного входного напряжения в однофазное выходное с равномерной нагрузкой всех сетевых фаз (рисунок 2).

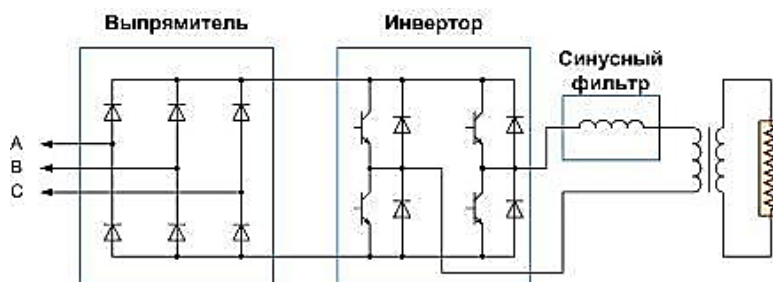


Рисунок 2 – Преобразователь трехфазного входного напряжения в однофазное выходное

Предложенный преобразователь, в отличие от готового трехфазного стабилизатора дешевле; позволяет подключать однофазные потребители большей мощностью, чем мощность одной фазы от трехфазной сети; также возможно подключение к стандартной однофазной сети.

Использование трёх однофазных стабилизаторов вносит сетевой перекос по фазам, который в свою очередь исключает предложенный регулятор, соблюдая симметрию распределения мощности. Также этот преобразователь позволяет подключать однофазные потребители с большей мощностью, чем мощность одной фазы трехфазной сети [6]. В отличие от трех однофазных стабилизаторов, такая система позволяет осуществлять общий контроль и мониторинг сразу по всем фазам.

#### **Заключение**

Таким образом, в работе предложена электротехническая система нагрева заготовок. В качестве регулирования процесса нагрева рекомендован тиристорный преобразователь трехфазного входного напряжения в однофазное выходное, посредством которого осуществляется питание от трехфазной сети однофазного печного трансформатора. Были рассмотрены преимущества предложенного устройства регулирования напряжения перед другими аналогичными преобразователями. Предложенное устройство обеспечивает симметричную загрузку по фазам и позволяет регулировать напряжение в широких пределах, что приводит к качественному нагреву заготовок требуемых размеров.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. 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.
2. Илларионов, А.Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие/ А.Г. Илларионов, А.А. Попов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 137 с.
3. Чунихин, А. А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.: ил.
4. Авторское свидетельство № 1046899 А1 СССР, МПК H02P 13/30. Способ управления тиристорным преобразователем частоты и устройство для управления тиристорным преобразователем частоты : № 3353619 : заявл. 11.11.1981 : опубл. 07.10.1983 / А. В. Иванов, П. С. Ройзман, А. Х. Узянбаев, В. С. Шашкин ; заявитель УФИМСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ.ОРДЖОНИКИДЗЕ. – EDN PNOACZ.
5. Ю.К. Розанов, П.А. Воронин, С.Е. Рывкин, Е.Е. Чаплыгин, Справочник по силовой электронике, Издательство «МЭИ», 2014. С. 305.
6. Гельман М.В. Тиристорные регуляторы переменного напряжения / М.В. Гельман, С.П. Лохов. - М.: Энергия, 1975. - 104 с.; Поскробко А.А., Братолобов В.В. Бесконтактные коммутирующие и регулирующие полупроводниковые устройства на переменном токе. - М.: Энергия, 1978. - 192 с.



УДК 621.314

Цыкунова Анна Андреевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Tsykunova Anna Andreevna, 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 Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕРЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

### **ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES USING POWER TRANSFORMER LOSSES TO REDUCE THE COSTS FOR THE OWN NEEDS OF TRANSFORMER SUBSTATIONS**

Аннотация. В работе проведена оценка возможностей внедрения и использования систем утилизации тепла в силовых масляных трансформаторах для снижения затрат на собственные нужды трансформаторных подстанций. Выполнен анализ известных систем охлаждения трансформаторов. Определены наиболее эффективные и перспективные с точки зрения полезного использования потерь. В ходе изучения существующих способов утилизации тепла выбрана наиболее эффективная трехконтурная система с тепловым насосом.

Abstract. The work assessed the possibilities of introducing and using heat recovery systems in power oil transformers to reduce costs for the own needs of transformer substations. An analysis of known transformer cooling systems was carried out. The most effective and promising ones from the point of view of beneficial use of losses have been identified. When studying existing heat recovery methods, the most efficient three-circuit system with a heat pump was selected.

Ключевые слова: силовой трансформатор, система охлаждения, тепловые потери, утилизация потерь.

Key words: power transformer, cooling system, heat losses, heat losses, heat recovery.

#### **Введение**

В настоящее время проблема энергосбережения является одной из самых актуальных, и с каждым годом этой теме уделяют все больше внимания. Рассматриваются способы снижения энергозатрат, которые реализуются различными путями, позволяющими сократить потребление энергии [1]. Современные силовые трансформаторы отличаются высоким коэффициентом полезного действия, который достигает 99 % и выше. Абсолютное большинство потерь в виде тепла бесполезно рассеиваются в окружающую среду. Эти потери можно направить непосредственно на собственные нужды самой трансформаторной подстанции [2, 3].

Целью работы является анализ возможности полезного использования тепловых потерь в силовых трансформаторах с различными системами охлаждения.

#### **Основная часть**

Для собственных нужд трансформаторных подстанций в среднем выделяют около 4 % от суммарных технологических потерь электрической энергии, но при анализе экономической составляющей выясняется, что в денежном выражении эти потери эквивалентны миллиардам рублей в год [4]. Анализ структуры собственных нужд трансформаторных подстанций позволил выявить пути полезного использования тепловых потерь самого силового трансформатора, например, для обогрева технологических помещений подстанции (компрессорная, аккумуляторная и др.), а так же помещений с дежурным и обслуживающим персоналом.

На рисунке 1 показаны нормы расхода электроэнергии, затрачиваемой на собственные нужды трансформаторной подстанции. Наибольшие затраты осуществляются на обдув и охлаждение автотрансформаторов и реакторов. Также немалые расходы тра-

тятся на обогрев общестанционного пункта управления (ОПУ), обогрев высоковольтных выключателей. Для уменьшения затрат электроэнергии на эти собственные нужды необходимо проводить ряд мероприятий. Одним из таких мероприятий является внедрение установки утилизации тепла [5].

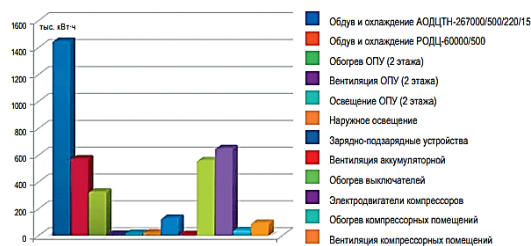


Рисунок 1 – Нормы расхода электроэнергии

В работе рассмотрены схемы установок для утилизации тепловых потерь силового трансформатора для нужд обогрева. Существуют системы «масло-воздух», в которых подогретый за счет обдува радиатора охлаждения трансформатора воздух поступает непосредственно в обогреваемое помещение. В этом случае из-за низкой теплоемкости воздуха длина воздуховодов должна быть ограничена, чтобы воздух не остыл при прохождении по ним. Силовой трансформатор должен находиться либо внутри обогреваемого помещения, либо в непосредственной близости.

Схема «масло-воздух» предполагает непосредственное использование трансформаторного масла в качестве основного теплоносителя в системе отопления. Горячее масло из верхнего слоя (части) бака перекачивается насосом в масляные радиаторы, отдает тепло воздуху в помещении и поступает обратно в бак. Система максимально проста и достаточно энергоэффективна, поскольку в ней отсутствуют промежуточные звенья. Главный недостаток системы – возможность утечки масла из контура отопления, что является недопустимым как с точки зрения надежности, так и пожаробезопасности, и санитарно-гигиенических норм. Поэтому из-за низкой надежности широкого распространения данная схема отбора не получила.

Для использования в системах обогрева более дешевого теплоносителя, например, воды, существует схема с водомасляным теплообменником. В таком теплообменнике вода нагревается за счет горячего трансформаторного масла. Заданная температура теплоносителя в системе теплоснабжения обеспечивается с помощью дополнительного устройства – электронагревательного бака, в котором осуществляется подогрев воды до требуемой температуры. В описываемой схеме можно регулировать теплообмен, что позволяет снизить нагрузку на циркуляционный насос в системе охлаждения трансформатора и снизить общие затраты на охлаждение. Более эффективно водомасляный теплообменник размещать внутри бака силового трансформатора, но это техническое решение значительно усложнит конструкцию самого силового трансформатора и его стоимость. Наиболее рационально водомаслянный теплообменник совместить со штатными масляными радиаторами классического трансформатора.

В период поздняя осень-зима-ранняя весна можно использовать дополнительное устройство – тепловой насос (ТН), который позволяет обеспечить нормативную температуру горячей воды для систем обогрева. ТН включается в дополнительный третий контур (рисунок 2).

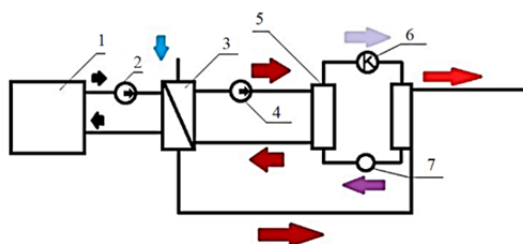


Рисунок 2 – Трехконтурная система утилизации тепла

Нагрев воды за счет потерь трансформатора 1 осуществляется в теплообменнике масло-вода 3. За счет этого теплообменника также осуществляется охлаждение самого трансформатора. Нагретая вода при помощи насоса 4 подается в испаритель 5 и отдает тепло промежуточному теплоносителю третьего контура, например, фреону. Кипящий фреон сжимается компрессором 6, что повышает его температуру. Тепло от фреона передается воде, которая поступает в систему обогрева. Далее за счет дроссельного вентилля 7 происходит охлаждение фреона и цикл повторяется. Даже при низкой температуре масла в теплообменнике в 20...30 °С, температура воды у потребителей достигает значений 60...70 °С, что приемлемо для систем отопления. Данная схема позволяет регулировать температуру в широких диапазонах.

#### **Заключение**

В ходе выполнения работы выявлено следующее:

- 1) тепловые потери трансформатора могут быть использованы для собственных нужд подстанции с помощью дополнительной системы утилизации тепла;
- 2) рассмотрены достоинства и недостатки различных систем утилизации тепла силовых трансформаторов;
- 3) с точки зрения снижения затрат на собственные нужды трансформаторной подстанции и получения нужных температурных параметров теплоносителя наиболее предпочтительной является трехконтурная система утилизации тепла.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Воротницкий, В. Э. Снижение потерь электроэнергии - важнейший путь энергосбережения в электрических сетях / В. Э. Воротницкий // Энергосбережение. – 2014. – № 3. – С. 61-64. – EDN SBKODD.
2. Иванов, С. Н. Повышение энергоэффективности и надежности силовых трансформаторов / С. Н. Иванов, Д. К. Шестоपालко // 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 1. – Томск: ООО «ЦПУ», 2016. – С. 153-157. – EDN UXYZER.
3. Совершенствование конструкции и повышение энергосберегающих свойств силового масляного трансформатора / И. И. Биленко, Н. А. Карпов, В. В. Иванов, А. В. Сериков // Электроэнергетические комплексы и системы: история, опыт, перспектива : Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Хабаровск, 19–20 ноября 2020 года. – Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 53-56. – EDN WFULLF.
4. Киш, Л. Нагрев и охлаждение трансформаторов / Пер. с венгерского. Под ред. Г. Е. Тарле. – М. : Энергия, 1980. – 208 с.
5. Воротницкий, В. Э. Системы утилизации тепла трансформаторов и автотрансформаторов 220-750 кВ / В. Э. Воротницкий // Энергия единой сети. – 2014. – № 6(17). – С. 32-42. – EDN VTBLYF.

УДК 629.423.31

Черепанов Николай Иванович, магистр, Дальневосточного государственного университета путей сообщений

Cherepanov Nikolay Ivanovich, master, Far Eastern State University of Transport

Соловьев Вячеслав Алексеевич, доктор технических наук, профессор Комсомольского-на-Амуре государственного университета

Soloviev Vyacheslav Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Komsomolsk-na-Amure State University

## СИСТЕМА ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

### SYSTEM OF SLAVE CONTROL BY ELECTRIC DRIVE BASED ON A DC MOTOR WITH SERIES EXCITATION

Аннотация. В статье рассмотрено влияние коэффициента пропорциональности на динамические характеристики линеаризованной системы управления двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением. Произведен расчет и настройка нечетного регулятора скорости для улучшения динамических характеристик системы.

Abstract. The article examines the influence of the proportionality coefficient on the dynamic characteristics of a linearized control system of a DC motor with sequential excitation. An odd speed controller was calculated and configured to improve the dynamic characteristics of the system.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, двигатель постоянного тока, коэффициент пропорциональности, нечеткий регулятор.

Key words: automatic control system, DC motor, proportionality coefficient, fuzzy controller.

#### Введение

В [1] рассмотрена возможность построения системы подчиненного регулирования на базе двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением (ДПТ-ПВ). Показано, что достижение требуемых показателей качества регулирования может быть обеспечено только в окрестностях рабочей точки, которая определялась на основе номинальных параметров двигателя. Гарантированная работа системы управления возможна только в режиме малого сигнала, а линеаризованная структурная схема системы (рис.1) отражает математическое описание ее в отклонениях.

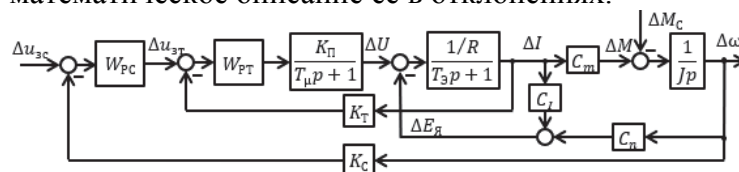


Рисунок 1 - Линеаризованная САУ ДПТ-ПВ

Особенностью ДПТ-ПВ является то, что с изменением нагрузки будет происходить изменение магнитного потока двигателя, что эквивалентно перемещению рабочей точки по кривой намагничивания. Учитывая нелинейность характеристики кривой намагничивания будет происходить изменение коэффициента пропорциональности между током якоря и магнитным потоком. Проанализируем, как это скажется на показателях качества регулирования системы управления [2,5].

#### Основная часть

Изменения коэффициента будем производить в обоих направлениях от рабочей точки. Значения коэффициентов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты пропорциональности

$k$	$k_2 (+70\%)$	$k_3 (+35\%)$	$k_4 (-70\%)$	$k_5 (-35\%)$
0,014	0,024	0,0189	0,0042	0,0091

Результаты моделирования приведены на рисунках 2 - 3.

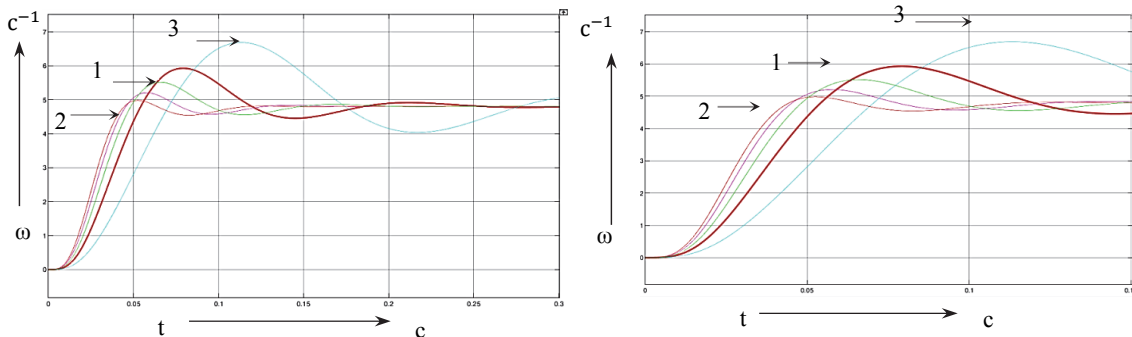


Рисунок 2 – График переходного процесса скорости и тока при различных значениях  $k$  системы с линеаризованным описанием:

1 – коэффициент пропорциональности  $k$ ; 2 – коэффициент пропорциональности  $k_2$

Анализ кривых переходного процесса скорости (рисунок 2) наглядно показывает, что при возрастании коэффициента пропорциональности уменьшается перерегулирование, но возникает дотягивание:

$$\sigma_2 = \frac{4,98 - 4,81}{4,81} \cdot 100\% = 3,5\%,$$

$$\sigma_4 = \frac{6,68 - 4,81}{4,81} \cdot 100\% = 38,9\%.$$

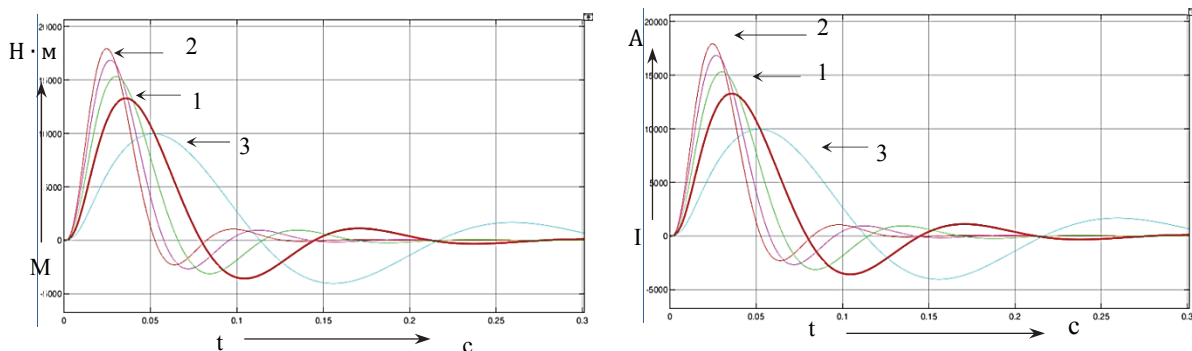


Рисунок 3 - График переходного процесса тока и момента при различных значениях  $k$  системы с линеаризованным описанием

При изменении коэффициента пропорциональности сбиваются настройки системы, и динамические характеристики не соответствуют заданным параметрам регулирования. Следовательно, чем меньше коэффициент пропорциональности, тем большая ошибка поступает на вход двигателя и, следовательно, необходим больший ток для стабилизации системы и поддержания ее в номинальном режиме; при воздействии возмущения система обрабатывает его идентично предыдущему описанию.

Для ослабления приведенных негативных факторов предлагается вместо использования регуляторов, реализующих классические законы управления применить регуляторы, построенные по нечеткому принципу. Для подтверждения работоспособности и эффективности такого подхода на рис. 5 приведен один из возможных вариантов схемной реализации такой системы управления, а на рис.6 результаты исследования [3,4].

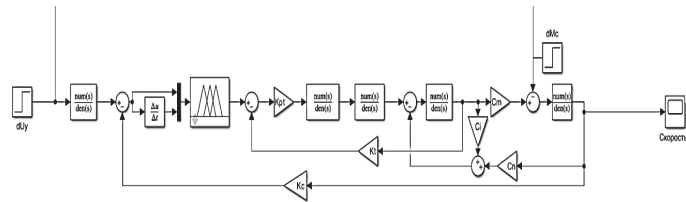


Рисунок 5 – Линеаризованная система с нечетким регулятором скорости

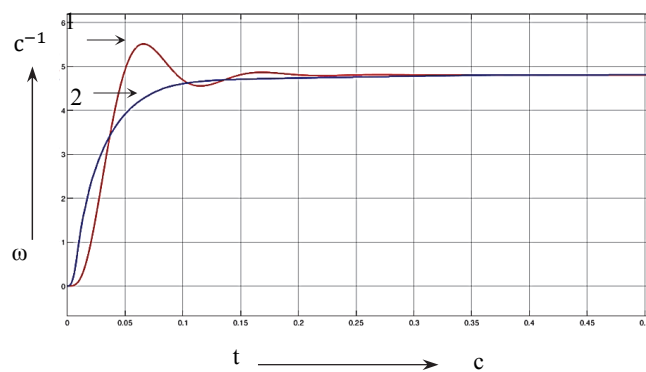


Рисунок 6 - График переходного процесса скорости от времени:  
1 – САУ с регуляторами стандартной настройки; 2 – САУ с нечетким регулятором

Характеристики нечеткого регулятора приведены на рисунке 7.

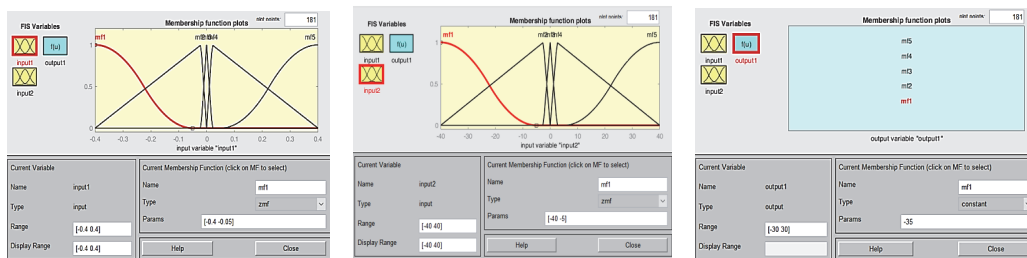


Рисунок 7 - Характеристики нечеткого регулятора

### Заключение

Исходя из приведенных графиков скорости (рис. 6) видно, что использование нечеткого регулятора позволило полностью исключить перерегулирование из данной системы при неизменном времени регулирования (быстродействии).

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стельмашук, С. В. Система подчинённого управления электроприводом постоянного тока с последовательным возбуждением / С. В. Стельмашук, Н. И. Черепанов. // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2022. – № VII -1 (57). – С. 35-45.
2. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г. Б. Онищенко [и др.]. – М.: РАСХН, 2001. – 520 с.
3. Соловьев, В. А. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами: учеб. пособие / В.А. Соловьев, С.П. Черный. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 267 с.
4. Кузнецов, А.В. Синтез нечёткого регулятора при помощи пакета прикладных программ системы Matlab: методическое пособие А.В. Кузнецов, Г.М. Макарьянц.
5. Дементьев, Ю. Н. Электрический привод: учебное пособие для вузов / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев. — 2-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 223 с

УДК 629.423 + 06

Шевкунова Анастасия Владимировна, кандидат технических наук, доцент, 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, Ростовский государственный университет путей сообщения

Dmitriy Viktorovich Olkhovатов, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Rostov State Transport University

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СКАЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПРИВОДА МОТОР-КОМПРЕССОРА**

### **MODELING OF A SCALAR CONTROL SYSTEM FOR AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR DRIVEN BY A MOTOR COMPRESSOR**

Аннотация. Выполнен расчет мощности электродвигателя необходимой для надежной работы электропривода мотор-компрессора. Произведена проверка производительности компрессорной установки, объема главных резервуаров и выбранного электродвигателя по пусковой и регулировочной способности при пониженном напряжении питания. Построена векторная модель асинхронного двигателя. Смоделирован процесс прямого пуска и процесс пуска асинхронного электродвигателя с применением скалярной системы управления и IR-компенсации.

Abstract. The calculation of the electric motor power required for reliable operation of the electric motor-compressor drive has been performed. The performance of the compressor unit, the volume of the main tanks and the selected electric motor were checked for starting and adjusting capacity at low supply voltage. A vector model of an asynchronous motor is constructed. The process of direct start-up and the process of starting an asynchronous electric motor with the use of a scalar control system and IR compensation is modeled.

Ключевые слова: электровоз, вспомогательные машины, мотор-компрессор, асинхронный электропривод, схема IR-компенсации.

Key words: electric locomotive, auxiliary machines, compressor motor, asynchronous electric drive, IR compensation circuit.

#### **Введение**

Электровоз – это сложный сборочный комплекс, надежность работы которого зависит от стабильного функционирования составляющих его сборочных единиц, узлов, агрегатов и т.п. На безопасность эксплуатации в большей части оказывает влияние бесперебойная работа электрических машин. На тяговом подвижном составе (ТПС) в зависимости от предназначения, электрические машины подразделяются на тяговые и вспомогательные [1]. Последние, в свою очередь, зачастую представлены электрическими машинами асинхронного типа. Согласно статистическим данным [2] на асинхронные вспомогательные машины (АВМ) электровозов приходится более 12 % отказов, из которых доминирующая доля – это неисправности электродвигателей мотор-компрессоров (МК). Ввиду данного обстоятельства, разработка надежного электропривода мотор-компрессора является актуальной задачей. Целью данной работы является моделирование процесса прямого пуска и пуска асинхронного электродвигателя привода компрессора с применением скалярной системы управления и IR-компенсации.

#### **Основная часть**

Компрессорная установка электровоза – это система, отвечающая за обеспечение поезда сжатым воздухом [3]. По необходимой производительности компрессора были рассчитаны параметры электродвигателя привода [2]. Требуемая производительность компрессорной установки и объем главного резервуара составили

$$Q_{\text{ком}} = \mu \cdot \frac{Q_{\text{общ}}}{70} = 1,3 \frac{161,6}{70} = 3 \text{ м}^3/\text{мин},$$

$$V_{\text{гр}} = \frac{\Delta P_{\text{м}} \cdot V_{\text{м}} \cdot u_i}{\Delta P_{\text{гр}}} = \frac{0,15 \cdot 0,0137 \cdot 70}{0,15} = 0,96 \text{ м}^3$$

Исходя из специфики работы мотор-компрессора расчетная номинальная мощность асинхронного двигателя (АД) составила

$$P_{\text{номр}} = \frac{P_{\text{номд}} \cdot \lambda_{\text{мин}} \cdot \lambda_a}{K_{\text{н}}^2 \cdot \lambda_{\text{ном}}} = \frac{31,53 \cdot 1,35 \cdot 1,3}{0,43 \cdot 2,4} = 53,24 \text{ кВт}$$

По необходимой мощности  $P_{\text{номр}}$  выбираем асинхронный двигатель типа НВА-55 ( $P_{\text{ном}} = 55 \text{ кВт}$ ).

Согласно методике [2] была произведена проверка выбранного электродвигателя по пусковой и перегрузочной способности при пониженном напряжении питания. Двигатель имеет запас мощности по пуску  $K_{\text{п}} = 1,52$ , что позволяет запустить компрессор при нормальных и критических условиях.

В качестве пускового устройства АД был выбран частотный преобразователь (ПЧ), в силу его неоспоримых преимуществ по сравнению с конденсаторной схемой [4].

Для случая, когда нагрузка носит спокойный характер, наиболее предпочтительной системой управления является частотно-параметрическая. Частота напряжения  $\omega$  на выходе ПЧ определяется задающим напряжением  $U_{\text{зс}}$ . В канал регулирования напряжения  $U_1$  преобразователя включается функциональный преобразователь ФП, который обеспечивает требуемое соотношение между напряжением и частотой.

Из закона частотного регулирования [2] следует, что для постоянства критического момента АД при уменьшении частоты необходимо величину напряжения уменьшать в меньшей степени, чем значение частоты.

Следует, однако, иметь в виду, что при большом снижении частоты постоянство критического момента обеспечивается за счет увеличения магнитного потока и соответственно тока намагничивания. Постоянство потока двигателя обеспечивается до значения  $\nu = 0,2 \dots 0,3$ . В этом случае диапазон регулирования скорости АД составляет примерно  $3 \dots 5$  при постоянстве перегрузочной способности двигателя.

Различие между зависимостью  $\gamma = F(\nu)$  и законом частотного регулирования вызвано тем, что при выводе формулы

$$\frac{U_1}{U_{1H}} = \frac{f_1}{f_{1H}} \quad \text{или} \quad \frac{U_1}{f_1} = \text{const} \quad (1)$$

пренебрегли влиянием активного сопротивления статора  $R_1$ . Поэтому при практической реализации с помощью функционального преобразователя ФП реализуют зависимость (1), но вводят компенсацию падения напряжения  $I_1 R_1$ , измеряя ток статора с помощью датчика тока ДТ. Функциональная схема частотного регулирования с  $IR$  – компенсацией приведена на рисунке 1.

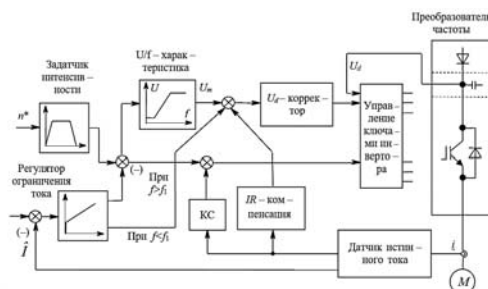


Рисунок 1 – Функциональная схема скалярной системы без обратной связи по скорости



Задающее напряжение  $U_{zc}$  подается на вход датчика интенсивности ЗИ. Выходное напряжение ЗИ  $U_f$  определяет скорость изменения частоты преобразователя частоты. Это же напряжение поступает на вход функционального преобразователя ФП. Выходное напряжение ФП является задающим для контура регулирования напряжения. Сигнал ДТ поступает на блок ИР-компенсации, на блок компенсации скольжения КС и на регулятор токоограничения РТО.

Был произведен расчет параметров структурной схемы АД типа НВА-55 согласно уравнениям модели АД в неподвижных осях  $\alpha - \beta$  [5].

В пакете программ Matlab была построена модель АД во вращающейся системе координат (рисунок 2).

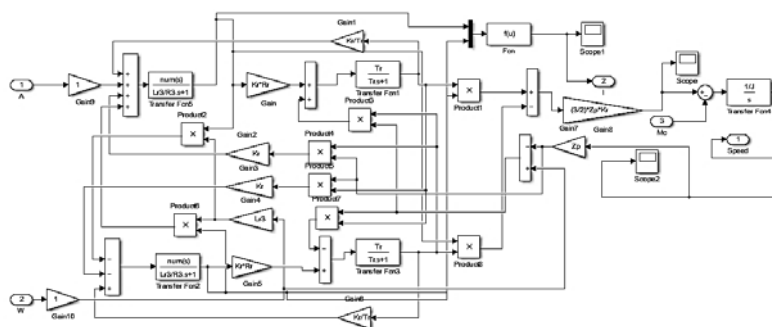


Рисунок 2 – Модель АД во вращающийся системе координат

Были построены графики скорости и тока АД при пуске на холостом ходу и графики скорости и тока АД при пуске под нагрузкой. В начальный момент времени на вал двигателя подавался статический момент равный номинальному. Данный режим нагрузки более адекватно описывает процесс протекающие в приводе компрессора.

Для сравнения результатов была построена модель скалярной системы управления АД без обратной связи по скорости. В момент времени 6 с на вал двигателя подавался статический момент равный номинальному.

### Заключение

В результате проведенного исследования, можно сделать вывод, что скалярная система управления благодаря введению датчика интенсивности, а также схемы ИР-компенсации позволяет продлить время переходного процесса и контролировать величину пускового тока в допустимых пределах. Подобный поход к построению электропривода мотор компрессора способен в значительной степени повысить его надежности и срок службы.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Космодамианский А.С. Тяговый и вспомогательный привод локомотивов с асинхронными двигателями / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А.А. Пугачев // Локомотив. – 2019. – № 3 (747). – С. 30-34.
2. Макаров В.В. Проектирование асинхронного электропривода вспомогательных механизмов ЭПС. В 2-х ч. Ч.2. – Примеры выполнения проектов по модернизации асинхронного электропривода вспомогательных механизмов ЭПС: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. А.М. Худоногова. – Иркутск, ИрГУПС, 2010. – 180 с.
3. Брейдо И.В. Сравнение систем электроприводов в промышленности / И.В. Брейдо, Е.В. Кунтуш, З.А. Баясилова // Автоматика. Информатика. – 2021. – № 1-2. – С. 45-48.
4. Афлятунов И.Ф. Асинхронный электропривод с конденсаторным пускокомпенсирующим устройством: дис. ...канд. техн. наук : 05.09.03 / И.Ф. Афлятунов. – Ульяновск, 2016. – 181 с.
5. Масандилов Л.Б. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей / Л.Б. Масандилов, В.В. Москаленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 96 с.

**СЕКЦИЯ**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ**

УДК 621.382

Батурин Алексей Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Baturin Alexey Alexeevich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Марущенко Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Marushchenko Sergey Grigorevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ**

### **DEVELOPMENT OF AN ENERGY STORAGE CONTROL DEVICE**

Аннотация. Система накопления электроэнергии представляет собой устройство, обеспечивающее бесперебойное питание выделенной (локальной) системы электроснабжения. Основу такой системы составляет накопитель энергии на электрохимических элементах – аккумуляторах. Тип используемых аккумуляторов и правильный режим их заряда и разряда обеспечивают срок службы накопителя. В данной статье рассмотрена структура устройства управления накопителем энергии, описано назначение отдельных блоков и принцип работы прибора в целом.

Abstract. An electricity storage system is a device that provides uninterrupted power to a dedicated (local) power supply system. The basis of such a system is an energy storage device based on electrochemical elements - batteries. The type of batteries used and the correct mode of charging and discharging them ensure the service life of the drive. This article discusses the structure of the energy storage control device, describes the purpose of individual blocks and the operating principle of the device as a whole.

Ключевые слова: накопитель энергии, аккумуляторная батарея, микроконтроллер, датчик температуры, датчик тока, датчик газа.

Key words: energy storage, rechargeable battery, microcontroller, temperature sensor, current sensor, gas sensor.

#### **Введение**

В настоящее время помимо традиционных источников генерации электроэнергии большое внимание стали уделять возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). Следствием перехода на ВИЭ стало развитие технологий накопления энергии и удешевление хранения электроэнергии. Система накопления энергии предназначена для накопления, хранения и отдачи электроэнергии в сеть, дом или квартиру. Одной из ключевых задач при проектировании (и тиражировании) систем накопления энергии для конкретных условий эксплуатации является разработка системы управления и набора алгоритмов для ведения требуемых (заранее задаваемых) режимов работы накопителя. Безопасность эксплуатации систем накопления энергии напрямую зависит от корректной работы устройства управления. К основным функциям устройства управления относятся: мониторинг элементов накопителя, управление циклами заряда и разряда аккумуляторов, адаптация режимов накопления и отдачи энергии с графиком нагрузок на электрическую сеть.

#### **Основная часть**

Основными компонентами системы накопления электроэнергии являются: накопители энергии, двусторонняя система преобразования электроэнергии, система управления и защиты, система адаптации к сети, а так же статический переключатель, обеспечивающий бесперебойное питание выделенной системы электроснабжения. В качестве накопителей энергии могут служить различные устройства, реализующие принципы преобразования энергии: механические (кинетические), криогенные, емкостные (суперконденсаторы), электрохимические (аккумуляторы) [1]. Наибольшее распространение получили электрохимические накопители, состоящие из последовательно соеди-

ненных литий-ионных аккумуляторных батарей [2]. Для обеспечения стабильной работы аккумуляторных батарей в течение длительного времени, накопитель необходимо укомплектовать системой управления. Система управления реализует возможности мониторинга, позволяющего получить необходимую информацию об уровне заряда, напряжении, токе, техническом состоянии аккумуляторной батареи [2].

Предлагаемое устройство призвано снижать и сглаживать суточные графики нагрузки потребителей электроэнергии, улучшать качество получаемой электроэнергии, служить резервным источником питания. Структурная схема устройства представлена на рисунке 1.

Принцип работы устройства, следующий: в моменты времени, когда нет необходимости в преобразовании и отдаче электроэнергии потребителям, напряжение сети проходит напрямую к выходу через фильтр, одновременно с этим через выпрямитель заряжается аккумулятор. Во время дневного максимума потребления энергии или в случае нарушения питания, система отключает потребителя от общей сети и происходит преобразование и отдача электроэнергии от накопителя.

Дисплей предназначен для отображения информации о текущем режиме работы, уровне заряда аккумуляторной батареи, потребляемой мощности и т.д. С помощью клавиатуры производится настройка устройства, например, задается время переключения режимов накопления и отдачи, устанавливается ток заряда аккумулятора.

Датчик тока и напряжения необходим для контроля параметров входного сетевого напряжения и учета потребляемой электроэнергии.

Газовый детектор и датчик температуры необходимы для отслеживания уровня концентрации водорода, выделяемого аккумуляторами и контроля нагрева аккумуляторов при зарядке, чтобы предотвратить возможное возгорание.

Часы реального времени позволяют выбирать время переключения от режима накопления энергии к режиму отдачи энергии аккумулятора.

Микроконтроллер предназначен для сбора данных с датчиков и часов реального времени, обработки команд пользователя с клавиатуры и управления процессом накопления и отдачи заряда аккумулятора.

### Заключение

Разработанная система управления накопителем энергии позволяет достичь следующих положительных эффектов:

1. Реализовать надежный источник резервного питания для индивидуальных потребителей и защитить локальную систему электроснабжения от скачков напряжения [3].
2. Гибкое управление процессами накопления и отдачи энергии позволяет выравнивать график нагрузки потребления, накапливая энергию в ночной период, когда тариф минимальный и возвращая ее в период максимального дневного потребления [4].
3. Индивидуальные системы накопления, объединенные в единую сеть, позволяют снизить нагрузку на общую электросеть, за счет системы управления энергопотреблением [5].

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Системы накопления энергии (СНЭ) // SystemCT.ru: ООО «Системы постоянного тока». [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://www.systemct.ru/product/product\\_id/19](https://www.systemct.ru/product/product_id/19) (дата обращения 10.03.2024).
2. Система накопления энергии Merus (ESS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://khomovelectro.ru/catalog/kondesatornye-ustanovki/sistemy-nakopleniya-elektroenergii-ess.html?sphrase\\_id=13691](https://khomovelectro.ru/catalog/kondesatornye-ustanovki/sistemy-nakopleniya-elektroenergii-ess.html?sphrase_id=13691) (дата обращения 10.03.2024).

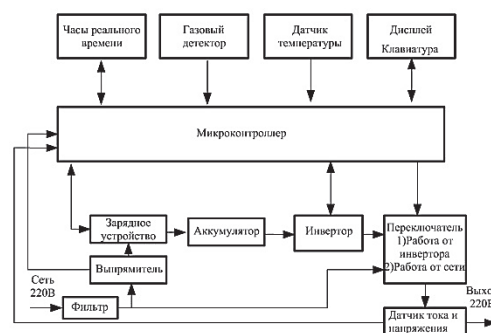


Рисунок 1 – Структурная схема устройства управления накопителем энергии

3. Куликов, Ю.А. Накопители электроэнергии - эффективный инструмент управления режимами электроэнергетических систем / Ю.А. Куликов. – 7 с. // FondSmena.ru: фонд образовательных проектов «Надёжная смена». [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [http://www.fondsmena.ru/media/EGM\\_publicationfiles\\_Article/Куликов\\_ЮА.pdf](http://www.fondsmena.ru/media/EGM_publicationfiles_Article/Куликов_ЮА.pdf) (дата обращения 10.03.2024).

4. Степанов, В.С. Управление электропотреблением путем деформации графиков нагрузки потребителей / В.С. Степанов, К.В. Суслов, Е.В. Козлова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 9. – С. 231-235.

5. Жук, А. З. Сравнительный анализ технологий для покрытия пиковых нагрузок в энергосистеме / А. З. Жук, Ю. А. Зейгарник, Е. А. Бузоверов, А. Е. Шейндлин, Ю. Н. Кучеров // Электрические станции. – 2015. – № 4. – С. 20-28.

УДК 681.518.5

Боцманов Антон Вадимович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Botcmanov Anton Vadimovich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БЛОКОВ БАТАРЕИ АККУМУЛЯТОРОВ**

### **MODULAR SYSTEM FOR MONITORING THE CONDITION OF BATTERY PACKS**

Аннотация. Рассмотрены причины необходимости применения систем контроля состояния отдельных ячеек аккумуляторной батареи. Проведен анализ существующих технических решений, выявлены их недостатки. Продемонстрирована структурная схема разрабатываемой системы, отвечающей требованиям безопасности, экономичности, а так же включающей функцию удаленного контроля.

Abstract. The reasons for the need to use systems for monitoring the condition of individual battery elements are considered. The analysis of existing technical solutions is carried out, their shortcomings are revealed. A block diagram of the system being developed that meets the requirements of safety, efficiency, and also includes a remote control function is demonstrated.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, аккумуляторные ячейки, контроль состояния.

Key words: accumulators, battery cells, status monitoring.

#### **Введение**

В настоящее время одной из основных областей использования батарей аккумуляторов является применение их в качестве резервных источников первичного электропитания автономных объектов связи, телеметрии, охраны, серверов данных, медицинской аппаратуры и пр. Широкий спектр применения источников бесперебойного питания обусловлен необходимостью обеспечения постоянного питания множества видов технических устройств, отключение которых недопустимо [1].

Для обеспечения бесперебойной работы любого вида автономного оборудования необходимо, чтобы параметры электроэнергии питающих его аккумуляторов полностью соответствовали рабочим диапазонам. Для этого важно обеспечить своевременную передачу информации об отклонениях состояния аккумулятора по какому-либо из критериев от номинальных значений.

Таким образом, для корректной работы батареи аккумуляторов требуется осуществлять постоянный мониторинг показателей напряжения, тока и температуры как отдельных аккумуляторов, так и всей батареи в целом. Для решения данной проблемы необходимо внедрить устройство, представляющего собой систему контроля состояния отдельных ячеек батареи аккумуляторов с возможностью удаленной передачи данных [2].

### Существующие системы контроля состояния аккумуляторов

На сегодняшний момент на рынке представлен ряд устройств для контроля состояния аккумуляторов и батареи аккумуляторов.

Рассмотрим в качестве примера готовую систему поэлементного контроля батареи аккумуляторов BMS01, внешний вид которой представлен на рисунке 1.

BMS01 включает в себя следующие блоки:

- набор датчиков BMS01-TA-2/-TA-6/-TA-12 для подключения к аккумуляторам напряжением 2/6/12 В;
- конвертер BMS01-KR;
- датчик общей цепи АКБ BMS01-TC;
- шлюз управления BMS01-CM.

BMS01 обладает следующими параметрами:

1. Назначение – непрерывный контроль параметров аккумуляторов в батарее и последующая передача данных на ПК.
2. Диапазон измеряемых напряжений:
  - а) BMS01-TA-2 – 1,5...2,5 В;
  - б) BMS01-TA-6 – 4,5...7,5 В;
  - в) BMS01-TA-12 – 9...15 В;
  - г) BMS01-TC – 20...800 В.
3. Допустимый ток цепи – 0...1000 А.
4. Количество подключаемых АКБ – до 6 цепей, до 300 АКБ в цепи. Общее количество аккумуляторов не должно превышать 960.
5. Функция измерения тока цепи и отдельных АКБ – есть.
6. Функция измерения температуры отдельных АКБ – есть.

При этом система BMS01 обладает следующими недостатками:

1. Отсутствие возможности отключения неисправного аккумулятора для предотвращения его влияния на батарею.
2. Необходимость в установке дополнительных крепежных элементов для размещения системы.
3. Значительные массогабаритные показатели: в зависимости от количества подключенных датчиков вес системы может достигать нескольких десятков килограмм.
4. Система является зарубежной разработкой.

### Структурная схема предлагаемого решения

В качестве системы мониторинга состояния блоков батареи аккумуляторов предлагается использовать устройство, структурная схема которого представлена на рисунке 2.



Рисунок 1 – Внешний вид BMS01

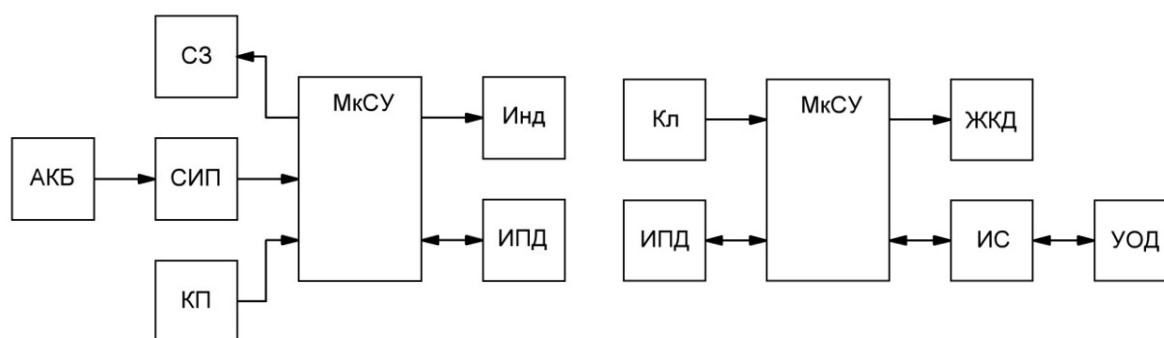


Рисунок 2 – Структурная схема системы

Представленная система представляет собой два отдельных блока, связанных по шине I2C по интерфейсу передачи данных (ИПД).

Первый блок является измерительным модулем, построенным на базе микроконтроллерной системы управления (МкСУ). К ней подключена система измерения параметров (СИП) для определения значений напряжения, тока, температуры и внутреннего сопротивления АКБ. На основе обработанной информации система управления отображает данные о состоянии аккумулятора, режиме работы и наличии связи по шине данных с помощью светодиодных индикаторов (Инд). Для возможности идентификации измерительного модуля в процессе обмена данными предусмотрен семиклавишный DIP-переключатель для задания номера модуля (КП). Для предотвращения перезаряда, перегрева и глубокого разряда АКБ предусмотрена система защиты (СЗ), представляющая собой набор управляемых коммутаторов на базе полевых транзисторов. Питание модуля осуществляется от контролируемого АКБ [3].

Второй блок представляет собой центральный модуль системы мониторинга, к которому подключаются измерительные модули. Основным блоком является микроконтроллерная система управления (МкСУ). Модуль оснащен жидкокристаллическим дисплеем (ЖКИ) и шестикнопочной клавиатурой (Кл) для возможности взаимодействия с системой напрямую. Для обмена данными с измерительными модулями центральный модуль так же подключен к общей шине I2C (ИПД). Обмен данными с сервером осуществляется через промежуточное устройство для удаленного обмена данными (УОД), которое подключается к центральному модулю с помощью интерфейса связи (ИС). Питание модуля осуществляется от одного из подконтрольных аккумуляторов [4].

#### **Заключение**

Таким образом, система контроля состояния аккумуляторных ячеек батареи аккумуляторов позволяет продлить срок эксплуатации АКБ. При этом разработанная система соответствует следующим требованиям:

- возможность удаленного контроля системы мониторинга;
- питание от контролируемых аккумуляторов;
- наличие гальванической развязки между измерительными и центральными модулями;
- отсутствие необходимости монтажа дополнительного крепежного оборудования;
- наличие системы защиты для предотвращения перезаряда, перегрева и глубокого разряда АКБ;
- возможность обмена данными с сервером как при помощи цифровых шин данных, так и интерфейсов Ethernet и RS-485 [5].

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Чупин, Д. П. Параметрический метод контроля эксплуатационных характеристик аккумуляторных батарей [Текст]: дис. Канд. Техн. Наук / Чупин Д.С. – Омск, 2014. – 203 с.

2. Кочуров, А. А. Теоретические основы решения проблемы увеличения сроков службы аккумуляторных батарей при хранении и повышения эффективности способов их восстановления. [Текст] / А.А. Кочуров, Н.П. Шевченко, В.Ю. Гумелев. – Рязань: РВАИ, 2009. – 249 с.

3. Свинцовые стартерные аккумуляторные батареи [Текст]: руководство. – М.: Воениздат, 1983. – 170 с.

4. Курзуков, Н. И. Аккумуляторные батареи. Краткий справочник / Н.И. Курзуков, В.М. Ягнятинский. – Москва : ЗАО «КЖИ «За рулем»», 2008. – 88 с.

5. Боцманов, А. В. Система контроля состояния аккумуляторных ячеек батареи аккумуляторов / А. В. Боцманов, А. В. Фролов // 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. 181-183. – EDN ATRDKG.

УДК 4.021

Ворощенко Василий Даниилович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Voroshchenko Vasilii Daniilovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПЛАНИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ТРАЕКТОРИЙ РОБОТА В РАМКАХ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПОКРАСКИ ЭЛЕМЕНТОВ ФЮЗЕЛЯЖА**

### **PLANNING A COMPLEX OF ROBOT TRAJECTORIES WITHIN THE FRAMEWORK OF AN ADAPTIVE SYSTEM FOR PAINTING FUSELAGE ELEMENTS**

Аннотация. В статье описана разработка алгоритма формирования комплекса траекторий для роботизированной покраски элементов фюзеляжа. Предлагаемый алгоритм необходим для определения траекторий перемещения робота с целью покраски деталей. В качестве входных данных, согласно алгоритму, необходимо использовать 3D-модель детали, её положение относительно робота и параметры покраски для формирования траекторий. В ходе выполнения алгоритма определяются вершины модели, расчет комплекса траекторий покраски и их перевод в систему координат робота с заданным положением в его пространстве.

Abstract. The article describes the development of an algorithm for generating a set of trajectories for robotic painting of fuselage elements. The proposed algorithm is necessary to determine the robot's movement trajectories for the purpose of painting parts. As input data, according to the algorithm, it is necessary to use a 3D model of the part, its position relative to the robot, and painting parameters to form trajectories. During the execution of the algorithm, the vertices of the model are determined, a set of painting trajectories is calculated, and they are translated into the robot's coordinate system with a given position in its space.

Ключевые слова: траектории, покраска, роботы, робототехнические системы, адаптивные системы.

Key words: trajectories, painting, robots, robotic systems, adaptive systems.

#### **Введение**

Авиационная отрасль играет важную роль в развитии экономики РФ. Поскольку, в настоящий момент существует курс, направленный на импортозамещение, актуальным стоит вопрос развития авиации и повышения эффективности. Современным методом повышения эффективности технологичных производств является автоматизация посредством роботизации. В производственных процессах, где основные трудозатраты приходятся на человека, следует проводить модернизацию с использованием роботов.

На авиационном заводе г. Комсомольска-на-Амуре существует процесс роботизированной покраски элементов фюзеляжа. Однако, слабая степень адаптивности процесса приводит к снижению эффективности всего участка. В связи с этим было решено разработать адаптивную систему управления процессом. В рамках реализации этой цели была поставлена задача: сформировать алгоритмы построения траекторий перемещения робота для покраски деталей. Результаты выполнения такого алгоритма должны позволить сформировать управляющую программу робота.

Применение итогового программного решения с использованием технологии технического зрения должно повысить адаптивность робототехнической системы покраски в условиях мелкосерийного производства [1, 2, 3].

#### **Основная часть**

Разрабатываемый алгоритм должен использовать в качестве входных данных:

- 3D-модель окрашиваемой детали в формате stl и step;
- положение детали в пространстве относительно робота;
- параметры покраски (длина факела и интервал).



При выполнении алгоритма должна сформироваться траектория покраски, которая выражена как последовательность положений распылителя (инструмента) (Таблица 1). Положение задается тремя координатами и тремя углами, определяющими ориентацию.

Таблица 1 – Список положений распылителя

№	X, мм	Y, мм	Z, мм	A, град.	B, град.	C, град.
1	585.818	-20	415.376	180	82.323	90
2	579.494	-20	416.223	180	83.704	90
3	572.516	-20	416.989	180	84.821	90

Также существует технологическое требование:

Ось Z системы координат центральной точки инструмента должна сохранять перпендикулярное положение по отношению к элементам окрашиваемой поверхности.

Существует также требование по поддержанию постоянной скорости движения распылителя, однако настройка скорости не учитывается при формировании траектории, а задается индивидуально для каждой управляющей программы. Поэтому при работе алгоритма она не учитывается.

Концептуально алгоритм должен иметь следующий вид (Рисунок 1).

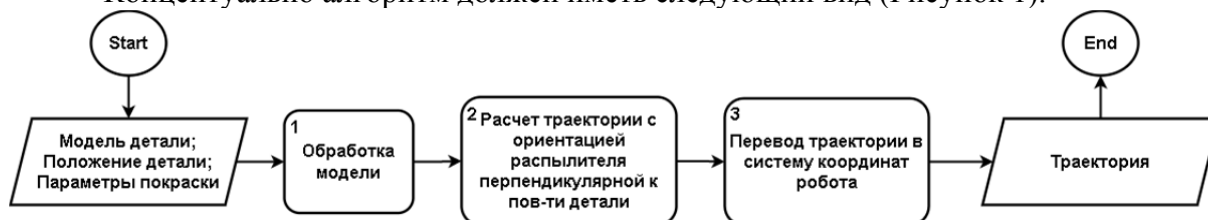


Рисунок 1 – Алгоритм в концептуальном виде

На первом этапе происходит определение вершин модели, которые представляют собой список точек, из которых и образуется визуализация. Среди всех точек необходимо выделить точки, составляющие одну из границ окрашиваемой поверхности детали.

На втором этапе происходит расчет линии, состоящей из точек, лежащих на нормали (Рисунок 2, а). Нормаль пересекает полигон (элемент окрашиваемой поверхности детали) в технологической точке. Эта точка лежит на вышеупомянутой границе. Используя расчеты нормали, одновременно определяется и ориентация инструмента вдоль линии покраски [4].

Полученные точки линии покраски и ориентация инструмента являются траекторией покраски. Далее необходимо сформировать их комплекс: растражировать на равном удалении друг от друга, то есть с определенным интервалом (Рисунок 2, б).

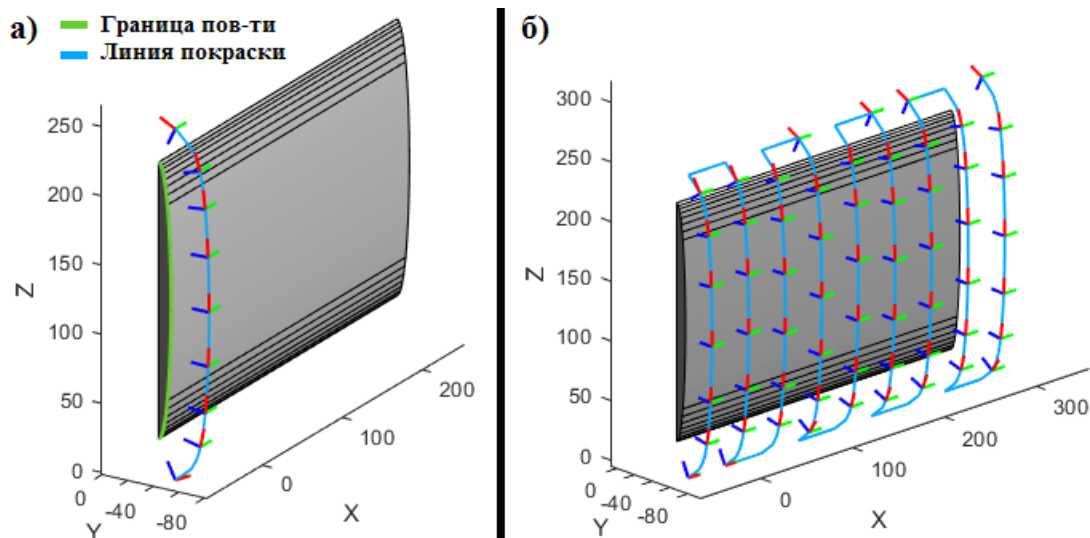


Рисунок 2 – Построение траекторий покраски:

а) Формирование траектории покраски; б) Комплекс траекторий покраски

На третьем этапе необходимо перевести полученный комплекс траекторий в систему координат робота. Для этого составляется однородная матрица преобразования, отражающая реальное положение детали в пространстве робота. Позиция детали задается с помощью системы определения положения: с помощью технического зрения определяются ключевые точки детали. Ориентация детали в пространстве задана по умолчанию, так как она не изменяется.

Перевод комплекса траекторий в систему координат робота осуществляется методом аффинных преобразований.

Также необходимо провести перевод системы координат инструмента в систему координат фланца. Поскольку программно используется только ориентация фланца. В этом случае смещение позиции фланца не учитывается. Так как это предусмотрено в работе.

Таким образом, будет получен набор точек, для перемещения инструмента, и соответствующие ориентации фланца робота.

### **Заключение**

На основе результатов выполнения алгоритма была сформирована управляющая программа робота, при которой он выполнял перемещения сохраняя требуемую ориентацию инструмента, интервал между траекториями и расстояние от инструмента до окрашиваемой поверхности. Это подтверждает работоспособность алгоритма.

В будущем алгоритм будет интегрирован в целостное программное обеспечение, имеющее блоки синтеза управляющих программ и визуализации результатов. С использованием технологии машинного зрения, для отслеживания положения детали в пространстве робота, станет возможным организация адаптивной робототехнической системы покраски [3, 5].

### **Благодарности.**

Исследование выполнено в рамках научного проекта, финансируемого за счет средств Российского Научного Фонда (Проект № 22-71-10093).

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Ijeoma W. Muzan, Tarig Faisal, H.M.A.A. Al-Assadi, Ahmud Iwan, Implementation of industrial robot for painting applications, *Procedia Engineering*, Volume 41, 2012, Pages 1329-1335, Issn 1877-7058
2. Jordan Ott, Madhavun Candadai, Colin Bunker, Sabhari Natrajan, Alexander Lonsberry, Andrew Lonsberry «Autonomous assembly robots» Path robotics, Inc. 19.10.2023
3. Ворощенко, В. Д. Моделирование столкновений подвижных объектов в роботизированном технологическом процессе / В. Д. Ворощенко, М. А. Горькавый // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2024. – № 1(73). – С. 82-89. – EDN OWSJDO.
4. Gasparetto, Alessandro & Vidoni, Renato & Pillan, Daniele & Saccavini, Ennio. (2012). Automatic Path and Trajectory Planning for Robotic Spray Painting. 1-6.
5. 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.

УДК 007.52

Грабарь Даниил Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grabar Daniil Mikhailovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОЦЕНКА ПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА РОБОТА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

### **ASSESSMENT OF THE POSE OF THE ROBOT'S WORKING ORGAN BASED ON COMPUTER VISION ALGORITHMS**

Аннотация. В работе представлено применение классических алгоритмов компьютерного зрения для обнаружения заготовок в покрасочной камере. Предлагается использование специальных маркеров для определения локальной базы робототехнического комплекса, которые имеют уникальный рисунок и позволяют заранее определить тип заготовки, его положение в пространстве робота. Результаты проведенных экспериментов показывают небольшую погрешность расчётных координат относительно фактических.

Abstract. The paper presents the application of classical computer vision algorithms for detecting blanks in a painting chamber. It is proposed to use special markers to determine the local base of the robotic complex, which have a unique pattern and allow you to determine in advance the type of workpiece, its position in the robot space. The results of the experiments show a small error in the calculated coordinates relative to the actual ones.

Ключевые слова: ArUco маркеры, калибровка камеры, калибровка робота, оценка позы, 3D-поза

Key words: ArUco markers, Camera calibration, Robot calibration, pose estimation, 3D pose

#### **Введение**

Промышленные роботы сегодня являются стандартом производственных процессов, благодаря их способности быстро и точно выполнять повторяющиеся задачи. Для достижения высокой точности выполняемых задач необходимо калибровать роботов во время их развертывания и последующей эксплуатации.

Так робототехнический комплекс, установленный на линейной направляющей, производит процесс покраски авиационных деталей имеющие разные габариты и формы. Стандартный процесс покраски представляет из себя калибровку базы робота для каждой отдельной детали. Такой подход не позволяет производить покраску различных деталей в одной покрасочной камере. При этом добавление новых деталей и наладка старых производственных линий занимает большое количество времени [1].

В качестве сокращения временных затрат калибровки локальной базы робототехнического комплекса, предлагается использование алгоритмов компьютерного зрения. Для улучшения процесса распознавания заготовки необходимо использование специальных калибровочных маркеров.

#### **Основная часть**

Применение классических алгоритмов детектирование объектов [2] в рабочем пространстве покрасочного цеха является непростой задачей. Все заготовки имеют сложную форму или недостаточно контрастны, чтобы их можно было разглядеть при оценке положения камеры в определенных условиях. Когда к объекту прикреплен опорный маркер, это значительно облегчает его обнаружение. Доступно множество различных маркеров [3], большинство из которых квадратные.

Для определения локальной базы роботизированного комплекса предлагается использовать маркеры ArUco [4], которые имеют уникальный рисунок. Такие маркеры позволяют заранее определить тип заготовки и его положение в пространстве робота.

Чтобы использовать одну камеру для обнаружения маркеров ArUco, камера должна быть откалибрована [5]. После калибровки вычисляется матрица камеры, содержащая

фокусные расстояния  $f_x, f_y$ , и оптические центры, выраженные в координатах пикселей  $c_x$ , и  $c_y$  и коэффициенты искажения  $k_1, k_2, p_1, p_2, k_3$ .

Для оценки положения и ориентации маркера необходима однородная матрица преобразования, которая сопоставляет точки системы координат маркера с системой координат камеры:

$$\begin{bmatrix} X_{cam} \\ Y_{cam} \\ Z_{cam} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & T_1 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & T_2 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & T_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_{marker} \\ Y_{marker} \\ Z_{marker} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Получив положение и ориентацию маркера в пространстве, была сопоставлена позиция робота к маркеру. Установленный маркер ArUco в оптическом центре ( $c_x, c_y$ ) камеры позволяет определить координаты робота. Переведя рабочий орган в центр маркера ArUco, были получены координаты робота и составлена однородная матрица преобразований. Для получения текущей координаты робота используя камеру была использована следующая формула:

$$\mathbf{T}_{robot} = \mathbf{T}_{zero} * \mathbf{T}_{marker}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{T}_{zero}$  – однородная матрица преобразования робота в центре маркера ArUco (позиция маркера  $X_{marker}, Y_{marker} = 0$ ),  $\mathbf{T}_{marker}$  – однородная матрица преобразования текущего положения маркера.  $\mathbf{T}_{robot}$  – однородная матрица преобразования конечного положения маркера для перемещения робота. Результаты работы спроектированной системы представлены на рисунке 1:

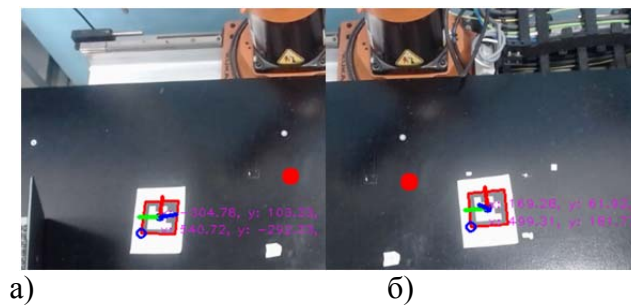


Рисунок 1 – Результаты работы системы.

а) Расположение маркера в позиции  $X_{marker} = 540\text{мм.}, Y_{marker} = -292\text{мм.}$

б) Расположение маркера в позиции  $X_{marker} = 499\text{мм.}, Y_{marker} = 181\text{мм.}$

Исследование проведено с использованием роботизированного комплекса на базе промышленного робота KUKA KR6 Agilus sixx. Абсолютные погрешности расчётных положений от фактических для ряда проведенных измерений представлены в таблице 1. Средняя погрешность по оси X составила 4.47 мм., по оси Y 5.87 мм.

Таблица 1 – Абсолютная погрешность расчётного положения от фактического

	Положение маркера по оси X, мм.	Положение робота по оси X, мм.	Ошибка по X, мм.	Положение маркера по оси Y, мм.	Положение робота по оси Y, мм.	Ошибка по Y, мм.
1	435.89	437.39	1.5	13.03	12.45	-0.58
2	488.99	495.14	6.15	276.89	269.67	-7.22
3	440.9	437.61	-3.29	-197.57	-178.06	19.51
4	672.45	667.45	-5	104.62	99.93	-4.69
5	297.05	322.29	25.24	397.31	351.62	-45.69
6	283.47	292.35	8.88	-310.68	-271.36	39.32
7	540.72	540.14	-0.58	-292.32	-251.83	40.49

В ходе эксперимента было установлено, что расположение камеры напрямую зависит на абсолютную погрешность по каждой из оси. Рассматриваемая плоскость камеры должна располагаться параллельно плоскости рабочего пространства. При расположении камеры под углом, происходит увеличение абсолютной ошибки относительно оптического центра ( $c_x, c_y$ ) камеры.

## **Заключение**

Решена задача калибровки локальной базы робототехнического комплекса за счёт применения алгоритмов компьютерного зрения с использованием специальных маркеров ArUco. Поставленный эксперимент, проводимый на промышленном роботе KUKA KR6 Agilus sixx показал успешность применения алгоритмов компьютерного зрения для калибровки базы робота. При этом система требует корректное расположения камеры относительно рабочей зоны робототехнического комплекса, а также применение дополнительных методов устранения дисторсии камеры.

## **Благодарности.**

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 нестандартных ситуаций и экстремальных условий в недетерминированной среде».

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Bernhardt R. Approaches for commissioning time reduction. *Ind Robot* 1997;24(1):62–71.
2. Райнхард Клетте Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы. - 1 изд. - г. Москва: ДМК Пресс, 2019. - 505 с.
3. R. Schouten Accuracy of Single Camera Pose Estimation with ArUco Fiducial Markers. - 1 изд. - г. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 2022. - 81 с.
4. Detection of ArUco Markers // Open-Source Computer Vision URL: [https://gregorkovalcik.github.io/opencv\\_contrib/tutorial\\_aruco\\_detection.html](https://gregorkovalcik.github.io/opencv_contrib/tutorial_aruco_detection.html) (дата обращения: 01.04.2024).
5. Грабарь, Д. М. Исследование методов калибровки камер промышленного роботизированного комплекса / Д. М. Грабарь, Ю. С. Иванов // 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. 405-408. – EDN CJNVBA.

УДК 378.664.04

Гнатик Данил Елисеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Gnatik Danil Eliseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Куделько Анатолий Романович, профессор, кандидат технических наук,  
Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kudelko Anatoly Romanovich, professor, candidate of technical sciences,  
Komsomolsk-na-Amure State University

## **НАПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

## **DIRECTIONS AND TECHNOLOGIES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE**

Аннотация. В статье рассматривается роль инноваций в повышении конкурентоспособности промышленных предприятий, как инновации влияют на промышленность и рассматриваются возможные проблемы, которые они за собой несут, влияние на конкурентоспособность при помощи внедрения передовых технологий, оптимизации бизнес-процессов и создание инновационной культуры.

Abstract. The article examines the role of innovations in increasing the competitiveness of industrial enterprises, how innovations affect industry and examines the possible problems

they entail, the impact on competitiveness through the introduction of advanced technologies, optimization of business processes and the creation of an innovative culture.

Ключевые слова: Инновации, промышленное предприятие, технологии, бизнес-процессы, стратегии, развитие, культура инноваций, устойчивый рост.

Key words: Innovation, industrial enterprise, technology, business processes, strategies, development, culture of innovation, sustainable growth.

### **Введение**

Инновационное развитие в промышленных предприятиях всегда было ключевым аспектом повышения конкурентоспособности в современных факторах экономики рынка, чьи тенденции постоянно нестабильны и их изменения непредсказуемы. Основные направления инновационного развития в промышленных предприятиях является изучение, внедрение и освоение передовых производственных технологий, оптимизация бизнес-процессов, логистики и быстродействия производства, разработка новых инновационных продуктов или услуг, а также создание, поддержание и развитие инновационной культуры в организации. Для успешного долгосрочного развития промышленных предприятий, а также планирования основных стратегий, методов и инструментов, которые можно применить для достижения инновационного успеха в данной отрасли, станут основоположниками инновационного развития промышленного предприятия в общем. Основным обсуждением инновационного развития промышленного предприятия станет непосредственно само управление инновационным развитием промышленным предприятием, будут затрагиваться внешняя среда, методы и инструменты, объекты управления и их основные результаты в общем понимании.

### **Основная часть**

Начнем с рассмотрение внешней среды, что туда входит и как она влияет на управление инновационным развитием промышленного предприятия в общем, внешняя среда разделяется на:

- Государство: определяет работу промышленных предприятий на глобальном уровне. Воздействие на промышленные предприятия осуществляются с помощью: национальные приоритеты; законодательство, нормы, правила и права; система финансирования; национальная инновационная система и инфраструктура; контроль, анализ и оценка результатов;

- Регион: определяет работу промышленных предприятий в регионе. Воздействие на промышленные предприятия осуществляются с помощью: приоритетов региона; инновационная система и инфраструктура региона; финансирование; законы, нормы и правила в регионе; контроль, анализ и оценка результатов.

- Экономическая ситуация

- Потребности рынков

- Конкуренция ситуация

Внешняя среда напрямую влияет на субъекты управления инновационным развитием промышленного предприятия во внутренней среде, исходя из чего субъекты управления определяют методы и инструменты управления, удовлетворяющие и подходящие под требования внешней среды, рассмотрим некоторые из них:

- Методы и инструменты идентификации в технико-технологическом и организационно-управленческом инновационном развитии и постановка задач – внутренний и внешний анализ, SWOT-анализ, технологический анализ, бенчмаркинг, технологии управления инновационными изменениями и т.п.;

- Методологические подходы к формированию системы управления инновационным развитием – процессный, системный, «PDCA»-подходы, проектное управление;

- Методы прогнозирования – методы критических технологий, Делфи, Форсайта;

- Методы и инструменты стратегического планирования – технологии дорожных карт, сбалансированная система показателей и т.п.;
- Технологии и инструменты разработки и планирования реализации, сравнительного анализа и отбора инновационных проектов.

Субъекты управления инновационным развитием промышленного предприятия с помощью описанных методов и инструментов управляют непосредственно объектами управления внутренней среды такие как:

- Структура и характеристика параметров инновационного потенциала;
- Инновационная корпоративная организационная культура;
- Инновационная восприимчивость и активность, мотивированность.

Управление данными объектами привносят ряд проблем, решение которых встает первостепенной задачей, выделяя главные проблемы, такие как:

- Инновационные риски;
- Компоненты маркетинговой поддержки инновационной деятельности;
- Процессы управления создаваемой интеллектуальной собственностью;
- Проблемы преодоления сопротивления инновационным изменениям сотрудниками.

Основными результатами инновационного развития промышленного предприятия в общем понимании выделяют:

- Создание собственных или использование созданных другими (конкурентами) инновационных продуктов, процессов, методов маркетинга, организационных структур и методов управления;
- Рост инновационной активности, инновационной восприимчивости персонала промышленного предприятия;
- Повышение показателей и имиджа предприятия, рост удовлетворенности заинтересованных лиц.

На рисунке 1 продемонстрирована блок-схема всего процесса управления инновационным развитием промышленного предприятия.

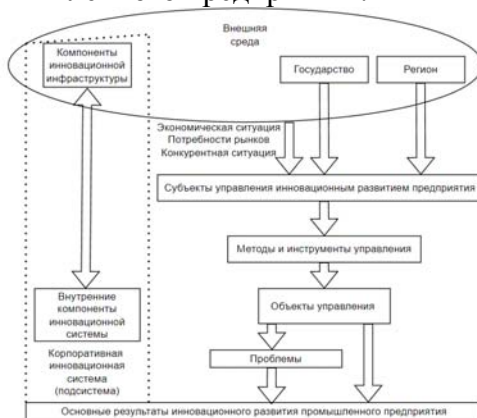


Рисунок 1 – Управление инновационным развитием промышленного предприятия

### Заключение

Управление инновационным развитием промышленных предприятий всегда был и будет основным фактором для уверенного повышения конкурентоспособности в экономике как современной, так и в будущем, где тенденции рынка постоянно меняются и чьи требования предсказать невозможно, прогнозирование стратегий и требований рынка не гарантируют положительного исхода. Основные направленности инновационного развития промышленного предприятия включают изучение, внедрение передовых технологий, создание новых продуктов и услуг, а также формирование инновационной культуры в организации. Для успешного долгосрочного развития промышленных предприятий необходимо использовать основные стратегии, методы и инструменты управления инновационным развитием промышленного предприятия.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Основные направления инновационного развития предприятия // URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=666280> (дата обращения: 01.03.2024).
2. Современные направления инновационно-технологической политики в деятельности промышленных предприятий // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-napravleniya-innovatsionno-tehnologicheskoy-politiki-v-deyatelnosti-promyshlennyh-predpriyatiy> (дата обращения: 01.03.2024).
3. Анализ современного состояния инновационного развития промышленных предприятий России и направления повышения их инновационной активности // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennogo-sostoyaniya-innovatsionnogo-razvitiya-promyshlennyh-predpriyatiy-rossii-i-napravleniya-povysheniya-ih> (дата обращения: 01.03.2024).
4. Основные направления инновационного развития предприятий // URL: <https://studfile.net/preview/7513904/page:12/> (дата обращения: 01.03.2024).
5. Инновации в промышленности: обзор трендов и технологий // URL: <https://delovoymir.biz/innovacii-v-promyshlennosti.html> (дата обращения: 01.03.2024).
6. Инновационное развитие предприятия // URL: <http://e.biblio.bru.by/bitstream/handle/1212121212/6160/Klimova.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 01.03.2024).

УДК 621.38

Евдокимов Игорь Павлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Evdokimov Igor Pavlovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

### DEVELOPMENT OF AN ON-BOARD MEASUREMENT SYSTEM FOR A SMALL UNMANNED AERIAL VEHICLE

Аннотация. Статья посвящена способам управления маломерным беспилотным летательным аппаратом с помощью встроенной навигационной системы. Рассмотрены недостатки навигационных систем, которые ограничивают вероятность их использования: сложность самой конструкции, и, как следствие, низкая надежность, большие габариты, вес и потребляемая мощность.

Abstract. The article is devoted to the methods of controlling a small unmanned aerial vehicle using an integrated navigation system. The disadvantages of navigation systems that limit the likelihood of their use are considered: the complexity of the design itself, and, as a result, low reliability, large dimensions, weight and power consumption.

Ключевые слова: маломерный беспилотный летательный аппарат, навигационная система, датчики, измерительная система.

Key words: small unmanned aerial vehicle, navigation system, sensors, measuring system.

### Введение

Системы управления маломерным беспилотным летательным аппаратом (МБПЛА) – это сложная система, в основе которой заложены концепции совмещенного управления, а сама система представляет собой комплекс наземного и бортового радиоэлектронного оборудования [1]. Навигационная система МБПЛА это сложный, измерительно-информационный комплекс, он в режиме реального времени обеспечивает летательный аппарат (ЛА) данными, позволяющими ему осуществлять движение по заданному маршруту. Навигационная система (НС) содержит датчики, центральное устройство, выполняющее вычисления и обработку поступающей информации, которая далее передается в системы управления ЛА. Требования по точности и надежности определяют класс самой навигационной системы. Создание системы из нескольких датчиков, подключенных к микроконтролл-



лерной системе, дает возможность обеспечить требуемые параметры [2]. Разработка навигационной системы для малоразмерного БПЛА, построенной по принципу минимизации массогабаритных параметров, обладающей требуемыми характеристиками по точности, является актуальной задачей. Система должна регистрировать: дальность и скорость полета, высоту, азимут, угол места, определять координаты центра масс и другие параметры ЛА [3].

### Основная часть

Определить пилотажно-навигационные параметры ЛА можно с помощью фотограмметрического метода, который на сегодняшний день является самым автономным. На борту ЛА необходимо расположить фотограмметрическую аппаратуру. Снимки получают после специальной наземной или бортовой обработки, по ним и определяют параметры пространственного положения. Фотограмметрический метод имеет очевидный недостаток – результат определения зависит от погодных условий, определить пространственное положение при сплошном тумане практически невозможно [4]. Трудоемкость обработки подобных данных увеличивается, правдоподобность выводов ставится под сомнение. Решить проблему определения полетных данных на борту автономного ЛА можно только с помощью оптимизированной обработки данных с помощью суперскоростных вычислителей.

Комплекс мероприятий, которые необходимо выполнять: мониторинг местности, выделение, распознавание и слежение за целевыми объектами, определение местоположения и ориентация летательного аппарата, высокоточное наведение и мониторинг объектов. Источником данных по-прежнему будет видеокамера, от ее данных будет зависеть точность вычисления координат и эффективность полета ЛА. Структурная схема информационно-измерительной системы МБПЛА представлена на рисунке 1.

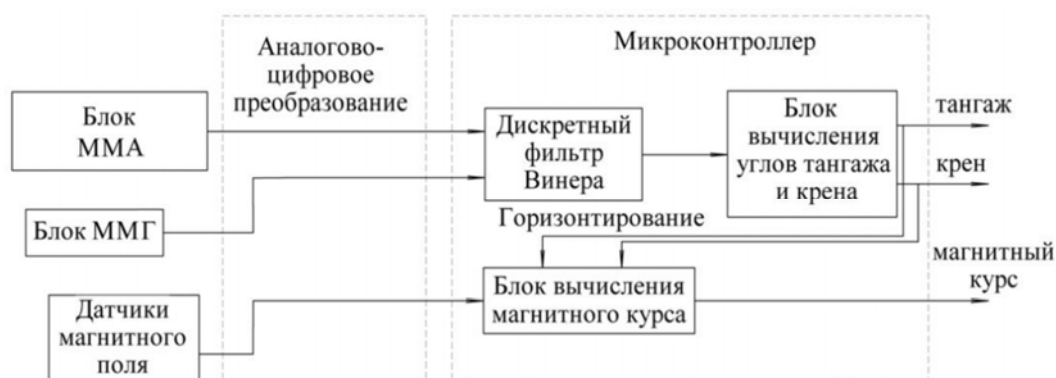


Рисунок 1 – Структурная схема информационно-измерительной системы

Для повышения точности при определении параметров ориентации ЛА и снижения массогабаритных показателей используется комбинация устройств: датчики угловых скоростей, выполненные на микромеханических гироскопах (ММГ) и акселерометрах (ММА). Информационно-измерительная система (ИИС) решает два вопроса: - «формирует требования к датчикам и устраняет влияние постоянных или медленноменяющихся ускорений на точность определения параметров ориентации. При таком подходе значение систематической погрешности остается постоянным, или может быть закономерно изменяющимся. Поэтому систематическую погрешность можно компенсировать или свести к минимуму путем калибровки, введением так называемой термокомпенсации» [5].

### Заключение

Вычислительные, преобразующие и исполнительные устройства, выполненные на базе микроконтроллера, обеспечивают автоматический полет по заданному маршруту. Взлет и заход на посадку, поддержание заданной высоты и скорости полета, стабилизацию углов ориентации и программное управление бортовыми системами осуществляются по алгоритмам, внесенным в память микроконтроллера. В режиме реального времени происходит вычисление параметров и вводится коррекция с учетом информации, полученной при видеосъемке. Система может осуществлять коррекцию углов тангажа и крена и определять магнитный курс.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сихарулидзе, Ю. Г. Баллистика и наведение летательных аппаратов : монография / Ю. Г. Сихарулидзе. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 410 с. - ISBN 978-5-00101-663-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1201963> (дата обращения: 03.04.2024). – Режим доступа: по подписке.
2. Самсонович, С. Л. Основы конструирования исполнительных механизмов приводных систем летательных аппаратов с минимизацией габаритных размеров : учебник / С.Л. Самсонович, В.А. Подшибнев ; под ред. С.Л. Самсоновича. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 391 с. – (Высшее образование: Специалист). – DOI 10.12737/1171992. - ISBN 978-5-16-016512-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1893801> (дата обращения: 03.04.2024). – Режим доступа: по подписке.
3. Шербинин, В. В. Построение инвариантных корреляционно-экстремальных систем навигации и наведения летательных аппаратов : монография / В. В. Шербинин. - Москва : МГТУ им. Баумана, 2011. - 232 с. - ISBN 978-5-7038-3516-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1955963> (дата обращения: 03.04.2024). – Режим доступа: по подписке.
4. Алгоритмы обработки информации навигационных систем и комплексов летательных аппаратов : монография / М. С. Селезнева, Шень Кай, К. А. Неусыпин, А. В. Пролетарский. - Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. - 238 с. - ISBN 978-5-7038-4845-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2079705> (дата обращения: 03.04.2024). – Режим доступа: по подписке.
5. Функциональные системы летательных аппаратов. Электрическое и электронное оборудование : учеб. пособие / А.Г. Гарганеев, Л.К. Бурулько, В.П. Петрович, А.П. Леонов ; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. - 240 с. - ISBN 978-5-4387-0705-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1043938> (дата обращения: 03.04.2024). – Режим доступа: по подписке.

УДК 621.38

Клопов Андрей Николаевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Klopov Andrey Nikolaevich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСРЕДНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

### **DEVELOPMENT OF A STAND FOR MEASURING THE STATIC CHARACTERISTICS OF A TWO-MEDIUM UNMANNED AERIAL VEHICLE**

Аннотация. Статья посвящена разработке стенда, позволяющего снимать все требуемые статические характеристики и выполнять автоматический анализ всех возможных режимов работы двухсредного беспилотного летательного аппарата без вмешательства человека. Полученные характеристики используются для дальнейшей настройки и работы беспилотных летательных аппаратов.

Abstract. The article is devoted to the development of a stand that allows you to remove all the required static characteristics and perform an automatic analysis of all possible modes of operation of a two-medium unmanned aerial vehicle without human intervention. The obtained characteristics are used for further configuration and operation of unmanned aerial vehicles.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, стенд для измерения характеристик, расчет подъемной силы двигателя, неточность в алгоритме управления.

Key words: an unmanned aerial vehicle, a stand for measuring characteristics, calculation of the lifting force of the engine, inaccuracy in the control algorithm.

## Введение

Двухсредный беспилотный летательный аппарат (БПЛА) является примером передового технологического развития в области беспилотной авиации и подводных аппаратов. Это устройство представляет собой комплекс высокотехнологичных систем, которые обеспечивают оператору широкий спектр возможностей для выполнения самых разнообразных задач как в воздушной среде, так и под водой.

Ключевой особенностью этого аппарата является его способность маневрировать без препятствий между различными средами благодаря специально разработанной обтекаемой форме корпуса и возможности регулировки угла поворота консолей. Это позволяет ему без проблем переходить из одной среды в другую и одновременно действовать в обеих средах, выполняя свои функции более энергоэффективно.

Существенные различия между средами создают трудности для снятия статических характеристик. Расчетные параметры для одной среды могут значительно отличаться от параметров другой среды, это затрудняет процесс разработки алгоритма управления. Для эффективной работы аппарата в разных условиях необходимо вводить корректировку коэффициентов регулирования. Математически сложно описываются характеристики: максимальная грузоподъемность в среде, сила тяги на отдельную консоль при определенной скорости вращения двигателей, направление вектора подъемной силы при различных углах поворота консолей. Эти параметры играют ключевую роль в эффективном функционировании и управлении двухсредным БПЛА.

## Основная часть

Большинство стендов, которые выполняют испытания БПЛА, представляют собой каркас, в котором летательный аппарат закрепляется таким образом, что при этом отсутствует возможность определять характеристики по осям. Поэтому возникла необходимость создать устройство, которое сможет выполнить измерение всех необходимых параметров БПЛА: скорость вращения двигателя, силу тяги на каждой из осей летательного аппарата, максимальную грузоподъемность готового изделия [1,2].

Стенд представляет собой устройство, на каждой из поворотной консоли беспилотного летательного аппарата закреплены тензометрические датчики, датчика количества оборотов вращения бесколлекторного двигателя, датчик потребляемого тока для каждой консоли, и напряжения во всей цепи (рисунок 1).

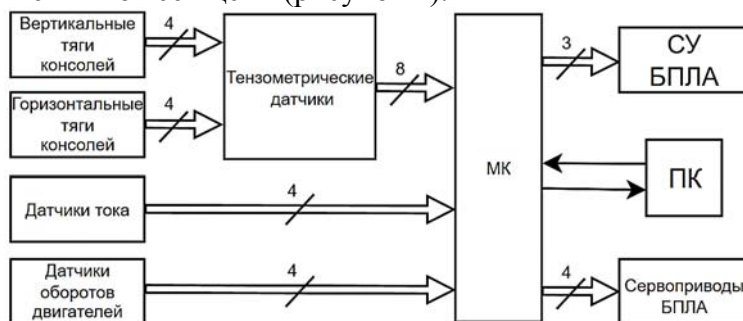


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Обработка всех сигналов осуществляется при помощи микроконтроллера с большой тактовой частотой, а в последующем все обработанные данные в виде массива поступают на персональный компьютер, где они получают визуализацию для комфортной работы оператора и далее подвергаются более сложным математическим операциям для минимального влияния на скорость обработки данных микроконтроллером. Передача данных между микроконтроллером и персональным компьютером осуществляется при помощи универсального асинхронного приёмопередатчика (UART), по причине оптимальной скорости и ресурса, необходимого для отправки данных в реальном времени и минимальными задержками между устройствами [3]. Прием, логирование и математические операции производятся при помощи программного обеспечения, написанного при помощи инструментальных средств LabVIEW, в виду возможности быстрой корректировки всех обрабатываемых параметров, которые поступают и отправляются на микроконтроллер [4].

Микроконтроллер обрабатывает все сигналы; система управления (СУ БПЛА) – полетный контроллер беспилотного летательного аппарата, принимающий данные о требуемой скорости вращения двигателей; персональный компьютер (ПК) отправляет данные на микроконтроллер и получает от него все данные для последующей обработки. Введение стенда для проведения испытаний беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представляет собой значительный шаг в развитии технологий этой области. Он обеспечивает возможность осуществить полный набор измерений и анализа всех требуемых статистических характеристик, что важно для понимания и оптимизации работы аппарата.

#### **Заключение**

Стенд позволяет выполнить автоматизацию процесса анализа всех возможных режимов работы аппарата, что значительно повышает удобство и точность управления им. Благодаря возможности оперативно реагировать на изменения в работе аппарата, оператор может более эффективно корректировать параметры и стратегию управления в режиме реального времени. Разработанный стенд является неотъемлемой частью процесса исследования и оптимизации работы двухсредных беспилотных летательных аппаратов. Он обеспечивает точное измерение всех необходимых характеристик и обработку данных, что является ключевым фактором для обеспечения эффективного управления и максимизации производительности таких аппаратов.

#### **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-novyy-jetap-ispytanij.html> (дата обращения 30.03.2024).
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 30.03.2024).
4. Васильев, А.С. Основы программирования в среде LabVIEW / А.С. Васильев, О.Ю. Лашманов // Основы программирования в среде LabVIEW : сборник. – СПб.: Изд-во ИТМО, 2005.

УДК 621.382

Ковпик Вячеслав Николаевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kovpik Vyacheslav Nikolaevich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Марущенко Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Marushchenko Sergey Grigorevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКОЙ**

## **DEVELOPMENT OF A CONTROL DEVICE FOR SPOT WELDING**

Аннотация. Целью работы является разработка устройства управления точечной (контактной) сваркой, используемой при конструировании узлов и изделий электронной техники, средств связи и управления. Качество сварного соединения напрямую зависит от дозирования энергии в точку соединения. Данную задачу призвано решить разрабатываемое устройство управления. В данной статье рассмотрена структура микро-

контроллерного устройства управления аппаратом точечной сварки, описано назначение отдельных блоков и принцип работы прибора.

Abstract. The purpose of the work is to develop a control device for spot (resistance) welding, used in the design of components and products of electronic equipment, communications and control equipment. The quality of the welded joint directly depends on the dosage of energy at the connection point. The control device being developed is designed to solve this problem. This article discusses the structure of a microcontroller device for controlling a spot welding machine, describes the purpose of individual blocks and the principle of operation of the device.

Ключевые слова: точечная сварка, силовой трансформатор, микроконтроллер, симистор, датчик температуры, датчик напряжения.

Key words: spot welding, power transformer, microcontroller, triac, temperature sensor, voltage sensor.

### **Введение**

Точечная сварка является разновидностью контактной сварки. Контактная электрическая сварка - это процесс получения неразъемного соединения в результате нагрева металлических деталей протекающим по ним электрическим током, который предусматривает сжатие деталей с последующим расплавлением зоны сварки. Для нагрева деталей при контактной сварке используются кратковременные импульсные электрические разряды длительностью от сотых долей секунды до нескольких секунд, под действием которых металл точно расплавляется с образованием общего для обеих заготовок сварного соединения [1,2].

Целью данной работы является разработка микроконтроллерного устройства управления силовым узлом аппарата точечной сварки основной функцией, которого является задание и точная выдержка времени сварки. В ходе работы над проектом была подобрана элементная база и синтезирована принципиальная электрическая схема устройства.

### **Основная часть**

При контактной сварке нагрев зависит от времени прохождения тока. Сваривание деталей происходит за счет теплового воздействия силы тока по закону Джоуля-Ленца. Количество энергии  $Q$  (Дж), выделяющейся между электродами, можно определить по формуле

$$Q = \int_0^{\tau} [R_k(\tau) + R_d(\tau)] \cdot I^2(\tau) d\tau,$$

где  $R_k$  – контактное сопротивление между деталями, Ом;  $\tau$  – время прохождения тока, с;  $R_d$  – сопротивление детали от электрода до места сварки, Ом;  $I$  – сварочный ток, А. Нагревать детали можно очень быстро, используя большой по величине ток, и наоборот более продолжительное время при меньшей силе тока. Режимы сварки с применением токов большой силы при минимальном времени нагрева называют жесткими. Жесткие режимы используются при сварке легкоплавких цветных металлов, например никелевой ленты к клеммам аккумулятора, и имеют следующие параметры: плотность тока сварки  $j = 160-400$  А/мм<sup>2</sup>; время сварки  $t_{св} = 0,1-1,0$  с. При мягком режиме используется ток небольшой величины, но с более продолжительным временем прохождения и постепенным нагревом свариваемых деталей. Мягкий режим применяется при сварке деталей, менее чувствительных к нагреву, и имеет следующие параметры:  $j = 80-160$  А/мм<sup>2</sup>;  $t_{св} = 0,5-3$  с [3,4].

Качество сварного соединения деталей напрямую зависит от соблюдения режимов сварки, величины подводимой энергии и времени воздействия. Предлагаемое устройство позволяет точно выдержать время сварки, реализовать различные режимы сварки, осуществлять коммутацию силового трансформатора в момент достижения максимума сетевого напряжения. Структурная схема устройства представлена на рисунке 1.

Принцип работы устройства, следующий: в момент сварки, когда нажата педаль (или кнопка «пуск») микроконтроллер кратковременно открывает ключ и подводит сетевое напряжение к силовому трансформатору. Электроды вторичной обмотки трансформатора подсоединены к свариваемым деталям. Кратковременное протекание тока через электроды приводит к плавлению металла под ними и образованию точечного сварного соединения [5].

Устройство управления сварочного аппарата построено на базе микроконтроллера, который определяет максимальное напряжение питания и в этот момент включает симистор на заданное время, кратное периоду остаточную намагниченность сердечника силового трансформатора также осуществляет сбор данных с датчиков, обработки команд пользователя с клавиатуры и управления процессом сварки.

Кроме того, контроллер позволяет вводить задержку от момента срабатывания кнопки до момента включения трансформатора, что облегчает работу сварочного аппарата без ножного выключателя.

Индикатор предназначен для отображения информации о текущем режиме работы сварочного аппарата, установленном времени сварки, температуре силового трансформатора. С помощью клавиатуры производится настройка устройства, например, задается режим сварки и продолжительность сварки.

Датчик напряжения необходим для контроля параметров входного сетевого напряжения, а именно момента достижения максимума сетевого напряжения для того, чтобы снизить пусковой ток в первичной обмотке силового трансформатора.

Датчик температуры необходим для контроля нагрева силового трансформатора и симистора, чтобы предотвратить перегрев последних, включив вентилятор.

### Заключение

Предлагаемый контроллер предназначен для работы со сварочным аппаратом, он имеет выходной каскад, адаптированный к индуктивной нагрузке, и переключает ее на максимуме мгновенного сетевого напряжения, что позволяет избежать насыщения сердечника и снизить бросок пускового тока. Использование микроконтроллера в устройстве управления контактной сваркой позволяет задавать режим сварки, точно выдерживать время сварки, а значит дозировать количество энергии, подводимое в точку соприкосновения деталей. Применение микроконтроллера облегчает работу со сварочным аппаратом и позволяет повысить качество сварного соединения.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Катаев, Р. Ф. Оборудование контактной сварки: учеб. пособие / Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 144 с.
2. Катаев, Р. Ф. Теория и технология контактной сварки: учебное пособие / Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. - 144 с.
3. Контактная сварка. Виды контактной сварки. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://eti.su/articles/elektricheskie-mashini/elektricheskie-mashini\\_1453.html](https://eti.su/articles/elektricheskie-mashini/elektricheskie-mashini_1453.html) (дата обращения 20.03.2024).
4. Точечная сварка своими руками: как самостоятельно собрать аппарат. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://vt-metall.ru/articles/tochechnaya-svarka-svoimi-rukami/?sphrase\\_id=88](https://vt-metall.ru/articles/tochechnaya-svarka-svoimi-rukami/?sphrase_id=88) (дата обращения 20.03.2024).
5. Точечная сварка. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://svarka74.ru/azbuka-svarki-spravochnyu-razdel/drugie\\_metody\\_svarki/tochechnaya\\_svarka/](https://svarka74.ru/azbuka-svarki-spravochnyu-razdel/drugie_metody_svarki/tochechnaya_svarka/) (дата обращения 20.03.2024).

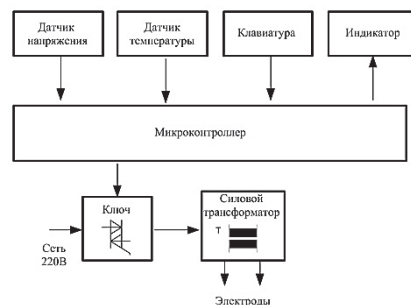


Рисунок 1 – Структурная схема устройства управления точечной сваркой

УДК 621.873

Кожан Михаил Владимирович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kozhan Mikhail Vladimirovich, 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

## СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО РАДИОУПРАВЛЕНИЯ КРАНОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

### SYSTEM OF REMOTE RADIO CONTROL OF CRANE EQUIPMENT

Аннотация. В работе рассматривается система дистанционного радиуправления крановым оборудованием. Она состоит из компактного переносного пульта управления и устанавливаемого на кране исполнительного устройства. Низкая себестоимость, малое энергопотребление и широкая область его возможного применения позволяет данной системе быть востребованной у широкого круга потребителей.

Abstract. The paper considers a system of remote radio control of crane equipment. It consists of a compact portable control panel and a crane-mounted actuator. Low cost, low power consumption and a wide area of its possible application allows this system to be demanded by a wide range of consumers.

Ключевые слова: крановое оборудование, дистанционное радиуправление, микроконтроллер, твердотельное реле.

Key words: crane equipment, remote radio control, microcontroller, solid-state relay.

#### Введение

В настоящее время во многих отраслях промышленности, где используется грузоподъемное оборудование, все чаще применяют современные устройства дистанционного управления кранами, которые позволяют модернизировать и обезопасить технологический процесс перемещения грузов [1, 2]. В результате использования такого оборудования стропальщики и монтажники могут сами управлять всеми подъемно-транспортными операциями без участия крановщика. Дистанционное радиуправление краном решает несколько важных задач: обеспечивает технику безопасности при перемещении грузов, позволяет более точно выполнять операции их передвижения и размещения, экономит рабочие и материальные ресурсы [3]. Хотя существуют промышленно выпускаемые системы дистанционного управления, однако, в связи с появлением новой элементной электронной базы целесообразно модернизировать такие системы, получая более современное и экономически выгодное решение.

#### Основная часть

Структурная схема системы приведена на рисунке 1. Она состоит из двух частей – компактного переносного пульта управления и устанавливаемого на кране исполнительного устройства (базового блока).

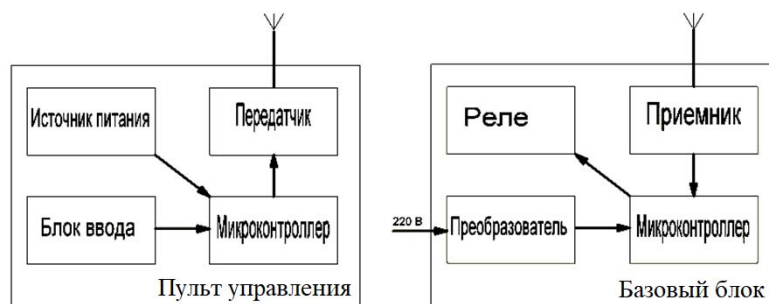


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Оба устройства, входящих в состав системы, являются микроконтроллерными [4, 5]. Пульт управления содержит аккумуляторный источник питания, а базовый блок питается от сети крана.

Пульт управления предназначен для выбора и передачи по радиоканалу команд управления исполнительными устройствами самого крана. Для выбора команд используются подпружиненные кнопки блока ввода. С точки зрения безопасности движение механической части должно происходить только тогда, когда кнопка удерживается в нажатом состоянии. Если запускать движение краткосрочным нажатием на кнопку, существует опасность вовремя не остановить движение при отвлечении внимания оператора.

Иногда важно одновременно активизировать два исполнительных устройства, например груз нужно перемещать сразу по двум координатам X и Y. В этом случае конструкция пульта должна предусматривать одновременное удержание двух кнопок с помощью больших пальцев обеих рук.

Важным является вопрос, нужно ли использовать информационный индикатор в пульте управления для оператора. Если оператор будет следить за индикатором, то он невольно отвлечется от реального процесса движения груза, что может способствовать аварийной ситуации. Поэтому следует использовать визуальную обратную связь по реальной обстановке, хотя после приобретения опыта работы такой индикатор может оказаться полезным. Для сравнения укажем, что многочисленные индикаторы и видео панели «не мешают» опытному водителю автомобиля в отличие от начинающего.

Выбор радиопередатчика обусловлен, главным образом, помехозащищенностью канала связи и дальностью передачи данных, которая должна составлять с запасом не менее 100 метров. Также для исключения аварийных ситуаций важно предусмотреть остановку движения в случае «пропадания» радиосигнала.

Назначение остальных блоков на структурной схеме понятно из названия. Отметим, что в базовом блоке в качестве реле целесообразно использовать современные твердотельные реле или IGBT транзисторы.

### **Заключение**

Данное устройство позволяет повысить уровень производительности работ, повысить безопасность при производстве работ, улучшить условия труда. В отличие от управления из подвесной кабины, крановщик-оператор имеет возможность беспрепятственно передвигаться в зоне работ, выбирая безопасный для себя путь следования.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Гохберг, М. М. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций: справочник для инженеров-конструкторов и инженеров механиков проектных организаций и предприятий / М. М. Гохберг, В. И. Брауде. – М. : Машиностроение, 1988. – 536 с.
2. Иванченко, Ф. К. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин: учебное пособие для студентов техн. вузов. – Киев : Вища школа, 1978. – 576 с.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». Серия 10. Выпуск 81. – М. : ЗАО «НТЦ ПБ», 2014. – 150 с.
4. Водовозов, А. М. Микроконтроллеры для систем автоматизации. Учебное пособие. – М. : Инфра-Инженерия, 2016. – 164 с.
5. Басманов, А. С. Микропроцессоры и однокристалльные микроЭВМ: Номенклатура и функциональные возможности / А. С. Басманов, Ю. Ф. Широков. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 128 с.



УДК 621.382

Кольцов Вячеслав Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Koltsov Vyacheslav Sergeyevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Копытов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kopytov Sergey Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛИС ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЗВУКОВ И УПРАВЛЕНИЯ ГРОМКОСТЬЮ ЗВУЧАНИЯ

### USING FPGAS FOR SOUND GENERATION AND SOUND VOLUME CONTROL

Аннотация. Целью работы является демонстрация возможности генерации звуковых сигналов и управления громкостью звучания полностью цифровым устройством, синтезированным в программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС). Для проектирования устройства использован язык описания аппаратуры Verilog. Разработка выполнена на ПЛИС компании Altera в интегрированной среде Quartus II.

Abstract. The purpose of this work is to demonstrate the possibility of generating sound signals and controlling sound volume by a fully digital device synthesized in a programmable logic integrated circuit (FPGA). Verilog hardware description language is used to design the device. The development was performed on Altera FPGA in Quartus II integrated environment.

Ключевые слова: ПЛИС, звук, громкость, Verilog, Quartus II, блок-схема.

Key words: FPGA, sound, volume, Verilog, Quartus II, block diagram.

#### Введение

Иногда при использовании цифровых устройств возникает необходимость передать информацию пользователю без применения индикаторов. Например, при запуске бесколлекторного двигателя драйвер «заставляет» двигатель издавать звуковые сигналы. Рассмотрим пример использования программируемой логической схемы (ПЛИС) для воспроизведения мелодии детской песенки «Маленькой елочке холодно зимой».

В качестве аппаратной части использован учебный стенд Лаборатории электронных средств обучения СибГУТИ LESO2.1 [1]. Стенд построен на ПЛИС семейства Cyclone I компании Altera [2]. Он содержит встроенный тактовый генератор частотой 50 МГц, 8 ползунковых переключателей для ввода сигналов, 8 светодиодов и сдвоенный семисегментный индикатор для вывода сигналов из ПЛИС. Предусмотрен разъем для подключения внешних устройств.

#### Основная часть

Модуль формирования звукового сигнала разработан на языке описания аппаратуры Verilog [3]. Текст модуля приведен ниже.

```
1 module mus(clk1, audio);
2 input wire clk1;
3 output reg audio;
4 reg clk2;    initial clk2 <= 1'd0;
5 reg clk;     initial clk <= 1'd0;
6 reg [15:0] counter; initial counter <= 16'd0;
7 reg [27:0] tone; initial tone <= 28'd0;
8 always @(posedge clk1) clk2 <= clk2^1'd1;
9 always @(posedge clk2) clk <= clk^1'd1;
10 always @(posedge clk) tone <= tone + 1'b1;
11 wire [5:0] step_num = tone[26:(26-5)];
12 wire [2:0] note_num =
13     (step_num == 0) ? 5 :
```

```

14         (step_num == 1) ? 5 :
15         (step_num == 2) ? 0 :
...
76         (step_num == 63) ? 0 :      0;
77 wire [15:0] clkdivider =
78         (note_num == 0) ? 16'd0 :
79         (note_num == 1) ? 16'b1011101111110000 :
80         (note_num == 2) ? 16'b1010011101110000 :
81         (note_num == 3) ? 16'b1001010100110000 :
82         (note_num == 4) ? 16'b1000110011010000 :
83         (note_num == 5) ? 16'b0111110101110000 :
84         (note_num == 6) ? 16'b0110111111000000 :
85         (note_num == 7) ? 16'b0101111000000000 : 16'd0;
86 always @(posedge clk) begin
87     if(counter==0) begin
88         counter <= clkdivider;
89     end
90 else begin
91     counter <= counter - 1'b1;
93 end
94     end
95 always @(posedge clk)
96     if(counter==0) audio <= ~audio;
97 endmodule

```

В модуле с именем *mus* входом является линия *clk1*, а выходом регистр однобитовый *audio*. Строки 4-7 описывают однобитовые регистры *clk2*, *clk*, 16-битный регистр *counter* и 28-битный регистр *tone*. Их исходные значения обнуляются. В 8 строке всегда, когда положительный фронт на входе *clk1* в регистр *clk2* записывается результат операции ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ его прежнего значения и единицы, т.е. инвертируется. В итоге бит в регистре *clk2* будет иметь частоту изменения в 2 раза меньше, чем на входе *clk1*. Аналогичные действия описывает строка 9. Следовательно, сигнал в регистре *clk* будет иметь частоту  $50/4=12,5$  МГц.

В строке 10 всегда при положительном фронте регистра *clk* инкрементируется значение регистра *tone*. В строке 11 выделяется 6-разрядная шина номер шага *step\_num* из шести старших разрядов регистра *tone*, которая будет последовательно приобретать комбинации от 0 до 63. В строках 12-76 в 3-разрядную шину *note\_num* поступает номер ноты от 0 до 7, соответствующий текущей комбинации на шине *step\_num*.

Пропущенные в тексте программы номера нот перечислены ниже -  
5, 5, 0, 0, 3, 0, 3, 0, 5, 5, 0, 0, 3, 0, 3, 0, 5, 0, 4, 0, 3, 0, 2, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 6, 6, 0, 0, 7, 0, 6, 0, 5, 5, 0, 0, 3, 0, 3, 0, 5, 0, 4, 0, 3, 0, 2, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0.

В строках 77-85 в 16-разрядную шину делителя частоты *clkdivider* поступает одно из 8 значений константы, соответствующее номеру выбранной ноты. В строках 86-94 всегда при положительном фронте регистра *clk*, если регистр *counter* равен 0, в него записываем значение константы с шины *clkdivider*, иначе декрементируется регистр *counter*. В строках 95-96 всегда при положительном фронте регистра *clk* значение выходного регистра *audio* инвертируется.

Встроенный тактовый генератор частотой 50 МГц подключен к PIN\_16 ПЛИС, динамик подключен к PIN\_85 через разъем расширения.

Для регулировки громкости звука нужно изменять среднее значение напряжения выходного сигнала. Это можно сделать с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Диапазон звуковых частот  $f=20\dots 20000$  Гц. Чтобы ухо человека не воспринимало частоту модуляции, ее необходимо сделать в 5...10 раз выше (примерно 100 кГц). Кроме того, сам динамик не воспроизводит такие высокие частоты.

Для получения 100 кГц из 50 МГц частоту необходимо поделить в  $50000/200=250$  раз, то есть использовать 8-разрядный делитель частоты ( $2^8=256$ ). Для обеспечения 16 уровней громкости звука необходимо увеличить число разрядов делителя на 4 ( $2^4=16$ ). Поскольку номера разрядов начинаются с нуля, нужно использовать разряды 8-11. Уровень громкости будем задавать с помощью 4 переключателей, подключенных к выводам PIN\_53-PIN\_56. Отсечение звукового сигнала происходит каждый раз, когда текущее значение счетчика превышает код с переключателей.

В схемном редакторе интегрированной среды Quartus II [4] разработана блок-схема верхнего уровня, которая приведена на рисунке 1. В схеме кроме модуля *mus* дополнительно использованы параметрический модуль компаратора LPM\_COMPARE [5] и модуль 12-разрядного делителя частоты *counter*, разработанный на языке Verilog. Его текст приведен ниже.

```

module counter (CLK, DAT);
input wire CLK;
output wire [28:0] DAT;
reg [28:0] count;
assign DAT = count;
always @(posedge CLK)
begin count<=count+1'd1; end
endmodule

```

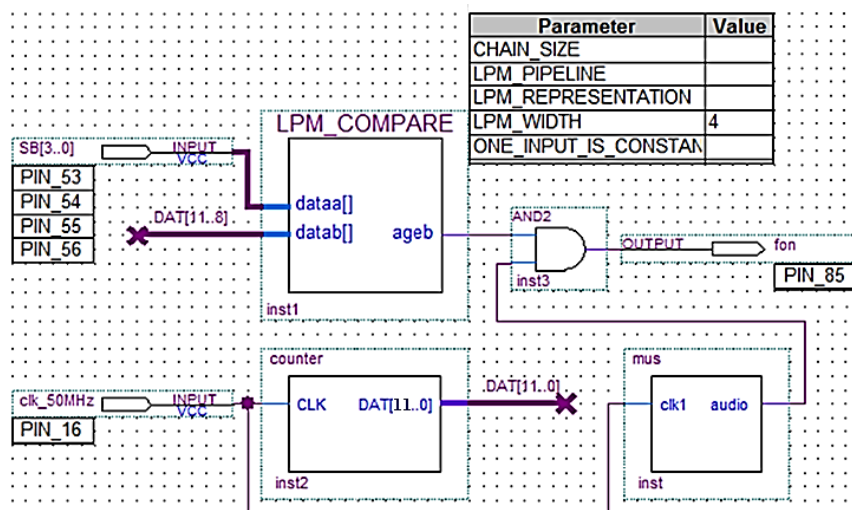


Рисунок 1 - Блок-схема верхнего уровня

### Заключение

Рассмотренный пример показывает широчайшие возможности современного подхода к разработке цифровых устройств на языке описания аппаратных средств. Продемонстрированы получение и регулировка громкости звука только с помощью цифровых узлов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Учебный лабораторный стенд на ПЛИС структуры FPGA - LESO2. – URL: <http://www.labfor.ru/devices/leso2> (дата обращения: 03.03.2024).
2. Семейства СБИС ПЛ серии Cyclone. – URL: <https://marsohod.org/howtobuy> (дата обращения: 03.03.2024).
3. Язык описания аппаратуры Verilog HDL. – URL: <https://altera.ru/sbis-pl-cyclone.html> (дата обращения: 03.03.2024).
4. Пошаговая инструкция: создаем проект Quartus II. – URL: <https://marsohod.org/home/11-blog/78-newproject> (дата обращения: 03.03.2024).
5. Часть 5 Программирование кристалла ПЛИС. – URL: [https://mf.bmstu.ru/assets/info/faculty/kf/caf/k3/subjects/automata\\_theory/books/quartusII.doc](https://mf.bmstu.ru/assets/info/faculty/kf/caf/k3/subjects/automata_theory/books/quartusII.doc) (дата обращения: 03.03.2024).

УДК 62-589.32

Короткий Михаил Михайлович, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Korotkiy Mikhail Mikhailovich, master's student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Aleksei Valerevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Industrial electronics and innovative technologies department, Komsomolsk-na-Amure State University

## **УПРАВЛЕНИЕ ШАГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СВАРОЧНОГО ВРАЩАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА**

### **WELDING ROTATOR STEPPER ELECTRIC DRIVE CONTROL VIA PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER**

Аннотация. Представлены результаты разработки алгоритма управления шаговым электроприводом с регулируемой скоростью посредством программируемого логического контроллера (ПЛК) с большим временем программного цикла. Показано, что алгоритм сигма-дельта модулятора обеспечивает плавное регулирование частоты выходных сигналов от 0 Гц до половины частоты программного цикла ПЛК путём деления частоты синхросигналов на произвольный дробный коэффициент.

Abstract. There are presented the algorithm for stepper electric drive controlling with adjustable speed using a programmable logic controller (PLC) with a long program cycle time. It is shown, that the sigma-delta modulator algorithm provides output signals frequency regulation from 0 Hz to half the PLC program cycle frequency by dividing the clock signals frequency by an every fractional coefficient.

Ключевые слова: делитель частоты, дробный коэффициент деления, шаговый электропривод, ПЛК, сварочный вращатель.

Key words: frequency divider, fractional division factor, stepper electric drive, PLC, welding rotator.

#### **Введение**

Сварочные вращатели нашли широкое применение в технологическом процессе сварки и наплавки тел вращения – труб, фланцев и т.д. Вращатели исключают прерывание процесса сварки, требуемое для поворота свариваемых деталей, вследствие чего исключаются дефекты, сопровождаемые процессы начала и окончания сварки. Отдельно стоит отметить, что при сварке труб малого диаметра (порядка 50 мм) во время сварки происходит прогрев свариваемых заготовок, что требует непрерывно повышать скорость сварки для исключения перегрева металла и его прожога. Кроме того, на сегодняшний день известны технологии сварки с импульсным перемещением сварочной горелки и пульсирующей сварочной дугой, которые обеспечивают более оптимальные условия для создания бездефектного сварного шва. Использование этих технологий тесно связано с разработкой сварочного вращателя с программируемым алгоритмом вращения заготовок. Существующие промышленные сварочные вращатели имеют аналоговую схему управления скоростью вращения на основе коллекторного электродвигателя постоянного тока с регулятором напряжения, как правило, даже без датчика скорости вращения, что не позволяет их эффективно использовать для решения вышеуказанных вопросов автоматизации сварочных процессов.

В настоящее время для автоматизации применяются бесколлекторные шаговые электродвигатели (ШД), которые обеспечивают поворот вала на заданный угол с высокой точностью, высокий крутящий момент в широком диапазоне скоростей вращения, удержание вала во время остановки. Для управления ШД используются драйверы ШД, которые обес-

печивают поворот вала ШД синхронно с сигналами управления. Поэтому задача управления шаговым электроприводом сводится к генерированию сигналов управления с заданной частотой. Современные системы автоматического управления строятся на базе ПЛК. Это решение позволяет гибко программировать алгоритм работы исполнительных устройств и синхронизировать их работу с другими устройствами (например, с источником сварочного тока, с электроприводом поперечного колебания сварочной горелки и т.д.).

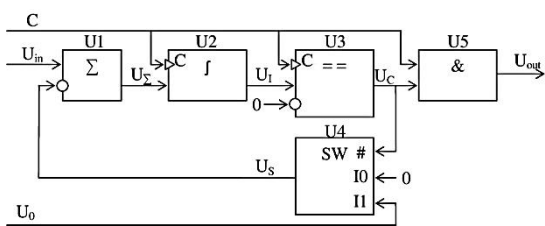
Существует проблема получения заданной частоты выходных сигналов ПЛК. Время программного цикла большинства ПЛК составляет порядка 1 мс. Это значит, что минимальная длительность и минимальная пауза сигналов управления драйвером ШД составляет 1 мс. Для получения более низкой частоты используются алгоритмы деления частоты. Деление частоты на целое число реализуется на счётчике с произвольным коэффициентом счёта методом автосброса [1]. Применительно к рассматриваемой задаче этот метод позволяет получить частоту сигналов 500 Гц; 250 Гц; 125 Гц; 62,5 Гц и т.д. То есть данный метод не позволяет плавно менять частоту, особенно в области высоких частот. Решению описанной актуальной задачи плавной регулировки скорости вращения сварочного вращателя от ПЛК посвящена данная работа.

### Основная часть

Для получения заданной частоты предлагается использовать программируемый делитель, который формирует следующую частоту выходных сигналов:

$$f_{\text{вых}} = f_{\text{т}} \frac{n}{m} \quad (1)$$

где  $f_{\text{вых}}$  – частота выходных сигналов, Гц;  $f_{\text{т}}$  – частота тактовых сигналов, Гц;  $n$  и  $m$  – натуральные числа ( $n$  может быть равен 0), при этом  $n \leq m$ .



В основу решения поставленной задачи был положен алгоритм сигма-дельта модуляции (рис. 1) [2 - 5].

Рисунок 1 – Функциональная схема делителя частоты с дробным коэффициентом деления

Данный алгоритм «пропускает» на выход  $U_{in}$  сигналов из  $U_0$  поступивших на вход, при этом достаточно равномерно распределяя импульсы и паузы (рис. 2), что обеспечивает высокую степень равномерности вращения ротора ШД. Устройство формирует выходные импульсы длительностью, равной длительности тактового сигнала.

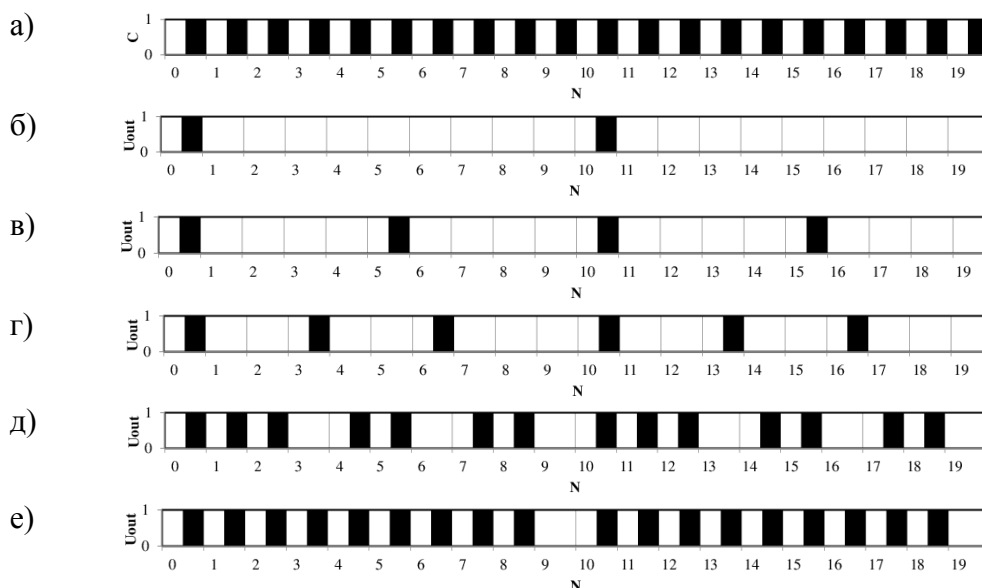


Рисунок 2 – Диаграммы синхросигнала (а) и выходных сигналов делителя частоты при коэффициентах деления: 10 (б); 5 (в); 10/3 (г); 10/7 (д); 10/9 (е)

## **Заключение**

Таким образом, применённый и модифицированный алгоритм сигма-дельта модуляции позволяет реализовать программируемый делитель частоты с произвольным коэффициентом деления как в виде алгоритма для управления ПЛК, так и в виде электронного устройства, что обеспечивает управление сварочным вращателем с плавно регулируемой частотой вращения в диапазоне от 0 Гц до частоты синхросигнала модулятора. Разработанный алгоритм отличается простотой реализации и использует простейшие математические и логические функциональные модули – сумматор, компаратор, мультиплексор. Разработанный алгоритм обеспечивает достаточно равномерное чередование импульсов и пауз, при этом максимальный джиттер не превышает одного периода синхросигнала, что обеспечивает практически постоянную скорость вращения. Алгоритм обеспечивает минимальное время периода выходных сигналов, равное числителю коэффициента деления, при условии, что коэффициент деления частоты представлен в виде неправильной несокращающейся дроби.

## **Благодарности.**

Исследование выполнялось в рамках гранта ФГБОУ ВО № ВН001/2023.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Фролов, А. В. Схемотехника цифровых устройств : лабораторный практикум / А. В. Фролов. — Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. — 129 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/122769.html> (дата обращения: 11.07.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
2. Колесников, Д. В. Анализ характеристик verilog-модели сигма-дельта модулятора / Д. В. Колесников, Е. Н. Бормонтов, Е. В. Невежин // Энергия - XXI век. – 2012. – № 1-2(82-83). – С. 58-63. – EDN ZCPFQB.
3. Способ анализа работы сигма-дельта модулятора во временной области / И. Я. Апкаев, О. И. Лазарева, К. Ю. Пискаев, М. С. Хитрых // Современные информационные технологии. – 2022. – № 35(35). – С. 57-62. – DOI 10.46548/CIT-2022-0035-0016. – EDN DUWDTR.
4. Толкачев, П. А. Анализ сигма-дельта модулятора / П. А. Толкачев // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 5. – С. 38-42. – EDN VTFAEF.
5. Шахтарин, Б. И. 77-30569/307193 Анализ сигма-дельта модулятора / Б. И. Шахтарин, А. А. Быков, А. А. Ковальчук // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 1. – С. 28. – EDN OWGPKR.

УДК 621.38

Лежнин Александр Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Lezhnin Alexander Mikhailovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СБОРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

## **MODERNIZATION OF THE METEOROLOGICAL DATA COLLECTION DISTRIBUTION SYSTEM**

Аннотация. Рассмотрены проблемы, возникающие при эксплуатации автоматических метеорологических станций. Представлены основные особенности технологии LoRa. Для построения беспроводной локальной сети и увеличения надежности передаваемых данных от метеорологических датчиков до места сбора и хранения полученной информации предложена возможность использования технологии LoRa.

Abstract. The problems arising during the operation of automatic meteorological stations are considered. The main features of the LoRa technology are presented. To build a wireless LAN and in-

crease the reliability of the transmitted data from meteorological sensors to the place of collection and storage of the received information, the possibility of using LoRa technology is proposed

Ключевые слова: метеорологическая станция, метеорологический датчик, технология LoRa, интерфейсы, локальная беспроводная сеть.

Key words: weather station, meteorological sensor, LoRa technology, interfaces, local wireless network.

### **Введение**

Обеспечение безопасности полетов является одной из главных задач при организации воздушного движения. Одним из факторов, воздействующих на безопасность полетов, является внешняя среда, то есть неблагоприятные природные явления: сильный ветер, гроза, кучево-дождевая облачность, град, туман и т.д. Чтобы обезопасить взлет и посадку воздушных судов, уменьшить количество задержек рейсов, связанных с неблагоприятными погодными условиями в зонах аэропортов, устанавливают автоматизированные метеорологические станции (АМС) [1].

АМС в общем виде состоит из: центрального устройства, удаленных средств для отображения информации и комплекта метеодатчиков. Комплект метеорологических датчиков, расположенных вдоль взлетно-посадочной полосы (ВПП), регистрирующих состояния окружающей среды на аэродроме (датчик температуры и влажности, измеритель облачности, скорость и направление ветра и т.д.) передают данные на центральное устройство, обеспечивающее сбор, обработку и хранение полученной информации. Далее обработанные данные по запросу просматриваются на контрольно-диспетчерском пункте (КДП) метеорологом или руководителем полетов. Каждый из датчиков соединяется с центральным устройством через выделенную проводную линию связи по интерфейсу RS-232 или RS-485.

### **Основная часть**

В процессе эксплуатации подобных АМС можно выделить ряд проблем.

1) Серьезным ограничением данных интерфейсов связи является расстояние, на которое может быть передана информация: для RS-232 – 15 метров, а для RS-485 – 1200 метров. В условиях аэродрома, когда расстояние от расположенных метеодатчиков и КДП исчисляются километрами, явно недостаточно.

Использование преобразователя интерфейса RS-232 в RS-485, увеличивающих расстояние до 1000 метров и повторителей для RS-485 позволяющих передать информационный сигнал еще на 1200 метров увеличивает количество устройств на линии связи и количество соединений.

2) Разъемы и линии связи, расположенные под землей в кабельных каналах и колодцах подвержены сезонным явлениям: изменению температуры и влажности, появлению грунтовых вод и подвижек грунта. Как следствие, появление коррозии и окислов на контактах разъемов, обрывы проводов или короткие замыкания, что в совокупности приводит к потере передаваемой информации и снижению осведомленности о состоянии погодных условий на аэродроме.

3) При добавлении (замене) одного или нескольких метеодатчика (ов) возникает необходимость в прокладке дополнительной линии и организации дополнительного канала связи, что является существенной статьей расходов при расширении и модернизации сети метеорологического оборудования.

Для решения приведенных проблем целесообразно применить альтернативный способ передачи информации. Одной из технологий, получившей развитие в области беспроводной передачи данных на большие расстояния является Long Range Wide Area Network (LoRa WAN). В основе технологии, разработанной некоммерческой организацией «LoRa Alliance», лежит модуляция с расширенным спектром и вариация линейной частотной модуляции (Chirp Spread Spectrum, CSS) с интегрированной прямой коррекцией ошибок (Forward Error Correction, FEC). Используя ширину канала 125 кГц, технология LoRa позволяет передавать сигнал по беспроводным каналам связи, устойчивый к шумам и нечувствительный к смещениям, вызванных неточностями при настройке частот в при-

емнике. Чувствительность приемников в минус 148 дБм позволяет передавать сообщения на большие расстояния (для сельской местности до 15 км, а для городской застройки до 5 км), обеспечивая малое энергопотребление и высокую устойчивость связи.

Частотный план, разработанный консорциумом «LoRa Alliance» [2] для РФ подразумевает использование радиочастот в диапазоне от 868 до 870 МГц. Согласно решению Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) [3] определена возможность использования полосы радиочастот от 868,7 до 869,2 МГц для применения устройств малого радиуса действия без оформления отдельных решений ГКРЧ и разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов для каждого конкретного пользователя. Имея требуемую помехоустойчивость, демодулирование сигнала с уровнями ниже 20 дБ уровня шума, данная сеть может применяться в условиях аэродрома, где происходит активный радиообмен [4].

Применяя технологию LoRa, появляется возможность организовать радиообмен метеоданными от конечного устройства, подключенного к метеорологическому датчику через интерфейс RS-232 или RS-485, и до главного устройства, подключенного по интерфейсу USB к персональному компьютеру для сбора и хранения полученных данных. Структурная схема системы радиообмена для передачи данных от метеорологического датчика на персональный компьютер показана на рисунке 1.

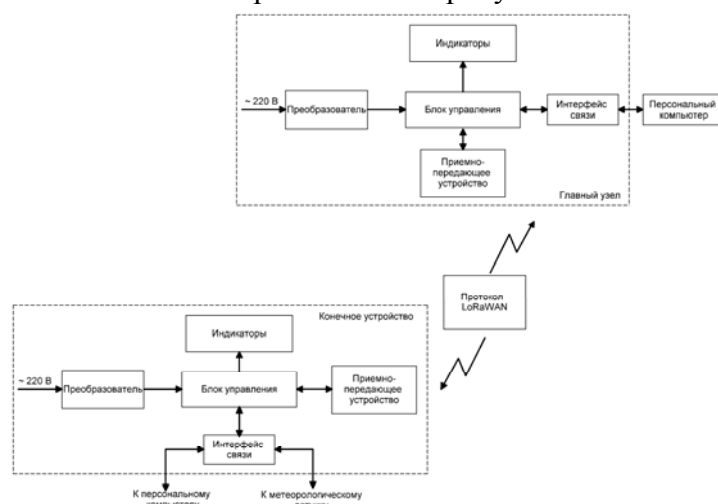


Рисунок 1 – Структурная схема по передаче данных от метеодатчика до сервера

Технология LoRa поддерживает топологию сети типа «Звезда», наиболее подходящую для организации локальной беспроводной сети, состоящей из нескольких конечных устройств и одного главного узла. Для работы в сети каждому приемно-передающему устройству LoRa присваивается адрес, состоящий из двух байт, и номер канала связи (несущая частота + номер канала связи). В протокол LoRa WAN заложено несколько режимов для передачи данных между устройствами: фиксированная и широковещательная передачи.

Использование первого режима передачи данных, позволяет получать данные от каждого конечного устройства в фиксированном режиме на главный узел и обращаться главному узлу адресно на конкретное конечное устройство. Использование второго режима позволяет главному узлу передавать сообщения на все конечные устройства в сети в случае необходимости. Каждое устройство в локальной сети имеет свой уникальный адрес и каналы связи для общения между двумя и более устройствами.

Одной из особенностей технологии LoRa является связь между скоростью передачи данных по радиоканалу и дальностью передачи сообщений. Чем ниже скорость передачи данных, тем на большем расстоянии будет получено отправленное сообщение. При скорости передачи в 2,4 кбит/с и прямой видимости, сообщение будет передано на расстояние 5 км. Протокол LoRaWAN регламентирует следующие скорости передачи данных: от 0,3 кбит/с до 62,5 кбит/с. Изменяя скорость передачи данных для каждого конечного устройства можно добиться оптимальной производительности сети.



## **Заключение**

Технология LoRa обладает достаточной помехозащищенностью, способна демодулировать сигнал ниже 20 дБ уровня шума, передает данные на расстояние более 5 км при прямой видимости, может рассматриваться как альтернатива проводному способу для передачи данных в условиях аэропортов. Организация сети по типу «Звезда» позволяет подключать новые устройства быстрее при расширении или замене метеодатчиков. Используя нелицензируемый частотный диапазон и дешевые приемно-передающие модули LoRa, представленная технология может быть применена для развертывания локальной беспроводной сети резервного канала связи для передачи метеорологических данных от датчиков до центрального устройства.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Восканян, К. Л. Автоматические метеорологические станции : в 2 т. / К. Л. Восканян, А. Д. Кузнецов, О. С. Сероухова . – Ч. 1 Тактико-технические характеристики : учебное пособие . – СПб. : РГГМУ, 2016 . – 170 с.
2. LoRaWAN Regional Parameters version 1.1 : © Copyright 2017 LoRa Alliance, Inc. 73 page.
3. О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия : Решение ГКРЧ при Мининформсвязи России от 07.05.2007 № 07-20-03-001. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс» . – Режим доступа : по подписке.
4. Туноголовец, Д. К. Оценка применимости технологий LoRaWAN для организации резервного канала связи для метеообеспечения аэродромов // Вестник Воронежского государственного технического университета Т. 17 № 5. 2021 г. – с. 25 – 31.

УДК 620.179.17:621.39

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

## **СТЕНД ДЛЯ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

### **STAND FOR ACOUSTIC CONTROL OF ELECTROMECHANICAL DEVICES**

Аннотация. Целью работы является разработка структуры устройства для диагностики вращающихся электромеханических устройств путем сбора и анализа звуковых сигналов, возникающих при их работе. Предложено помимо регистрации акустического сигнала воздействовать на тестируемый объект с помощью его наклона, а также дополнительно измерять механическую нагрузку, влияющую на уровень звукового сигнала.

Abstract. The purpose of the work is to develop a device structure for diagnostics of rotating electromechanical devices by collecting and analyzing sound signals arising during their operation. In addition to recording the acoustic signal, it is proposed to influence the object under test by means of its inclination, and additionally to measure the mechanical load affecting the level of the sound signal.

Ключевые слова: акустическая диагностика, микрофон, АЦП, наклон объекта, тензомост.

Key words: acoustic diagnostics, microphone, ADC, object tilt, strain bridge.

## **Введение**

Одним из наиболее распространенных методов контроля состояния электромеханических устройств является вибрационный и акустический анализ [1 – 4]. Вибрацию

и порождаемые ей звуковые волны считают одним из самых ранних проявлений неполадок в механических устройствах. Проблеме регистрации, обработки и анализа таких сигналов уделяется огромное внимание.

Одними из самых распространенных дефектов роторных устройств, изменяющих звуковой фон, являются износ подшипников разных видов, поломки, приводящие к смещению центра масс, нарушения режимов эксплуатации (перегруз, истощение смазки и др.).

Большинство устройств звуко- и вибродиагностики являются пассивными с точки зрения того, что они только регистрируют возникающие сигналы, не оказывая влияния на объект исследования. Однако для сбора более полной информации о проявлениях дефектов следует воздействовать на объект, изменяя, например, направление вектора силы тяжести.

### Основная часть

Структурная схема устройства приведена на рисунке 1.

Работой устройства управляет миникомпьютер Raspberry Pi [5]. Данный миникомпьютер является мощным вычислительным средством, содержит большой объем постоянной перепрограммируемой и оперативной памяти. В нем для подключения внешних устройств предусмотрен разъем расширения с такими видами последовательных интерфейсов, как I2C, SPI и с параллельными портами ввода-вывода GPIO. Связь с удаленным персональным компьютером может быть обеспечена через Ethernet.

Для получения дополнительной информации об объекте и выявления дефектов, проявляющихся лишь в определенных условиях, объект установлен на шасси, которое имеет возможность наклона в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Наклон шасси выполняют два шаговых двигателя X и Y. Токи в обмотках двигателей создают мостовые транзисторные драйверы, управляющие сигналы на которые подает миникомпьютер через параллельные порты ввода-вывода GPIO.

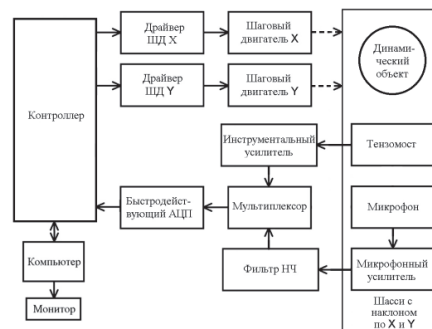


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

От вращающегося объекта исследования исходят звуковые колебания, которые электретным микрофоном преобразуются в электрический сигнал.

Для повышения уровня напряжения этого сигнала и наиболее полного использования динамического диапазона аналого-цифрового преобразователя применен микрофонный усилитель. Сигнал с выхода усилителя поступает на фильтр низкой частоты, устраняющий высокочастотные составляющие, которые могут привести к появлению ложных частот в спектре сигнала после аналого-цифрового преобразования.

Известно, что механическая нагрузка сильно влияет на уровень вибрации вращающихся машин. Установлено, что уровни вибрации существенно различаются при нормальной нагрузке и при работе без нагрузки. Для измерения приложенного механического усилия предложено использовать тензомост. Совместно с тензомостом используется специализированный инструментальный усилитель INA125.

Звуковой сигнал с выхода ФНЧ и сигнал, пропорциональный приложенному усилию, поступают на мультиплексор, который один из них подает на вход быстродействующего многоразрядного АЦП ADS8326. Данный преобразователь имеет разрядность 16 бит, частоту дискретизации 250 кГц и последовательный интерфейс подключения SPI.

### Заключение

Таким образом, разработана структура стенда, позволяющего выполнять акустический анализ вращающихся электромеханических устройств. В стенде предусмотрено активное воздействие на объект исследования за счет его наклона. Также введен дополнительный измерительный канал механической нагрузки, которая существенно

влияет на уровень вибрации и, следовательно, создаваемого звука. Заменяв микрофон на пьезодатчик или МЭМС акселерометр, и внося соответствующие изменения в схему, стенд можно будет использовать для вибрационного контроля.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Русов, В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам / В.А. Русов. – Пермь : Изд-во «Вибро-Центр», 2012. – 252 с.
2. Костюков В. Н. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие / В. Н. Костюков, А. П. Науменко. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011. – 360 с.
3. Федосов, В.П. Цифровая обработка звуковых и вибросигналов в LabVIEW. Справочник функций системы NI Sound and Vibration LabVIEW / В.П. Федосов. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 1296 с.
4. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации : учебное пособие / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. – Санкт-Петербург : Севзапучцентр, 2012. – 158 с.
5. Магда, Ю. С. Raspberry Pi. Руководство по настройке и применению : практическое руководство / Ю. С. Магда. - 2-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2023. – 189 с.

УДК 64-52

Маслов Владислав Игоревич, магистрант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Maslov Vladislav Igorevich, master 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

#### **ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

#### **TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF AUTOMATED ENERGY RESOURCES DISTRIBUTION SYSTEMS AND WAYS FOR THEIR SOLUTIONS**

Аннотация. Для повышения рациональности расходов энергетических ресурсов в многоквартирных домах предлагается изучить преимущества применения нейросетей в части учёта потребления энергоресурсов и их распределения. Предлагается изучить вопрос использования нейронных сетей для прогнозирования и расчёта объёмов потреблённых энергетических ресурсов. Нейронные сети могут оптимизировать распределение ресурсов в энергетических сетях.

Abstract. To improve the rationality of spending energy resources in apartment buildings, it is proposed to study the advantages of using neural networks in terms of accounting for energy consumption and their distribution. It is proposed to study the issue of using neural networks to predict and calculate the volume of consumed energy resources. Neural networks can optimize the distribution of resources in energy networks.

Ключевые слова: нейронные сети, способы учёта, потребление энергетических ресурсов.

Key words: neural networks, accounting methods, energy resource consumption.

#### **Введение**

В настоящее время расчет платы за отопления ведется по сложным формулам [1], в которых потребителю не раскрываются потери тепла на общедомовое имущество. Точный расчет тепла связан с установкой дорогостоящих индивидуальных приборов

учета на каждый радиатор [2]. В тоже время применение нейронных сетей, позволяет расширить возможности путем добавления слоев, учитывающих температуру теплоносителя, температуру наружного воздуха и других внешних факторов. Способность нейросетей обучаться на имитировании внешних факторов дает возможность достичь высокой точности вычислений и снизить трудоемкость расчетов оплаты тепла. Целью работы является: применение нейронных сетей в части проведения расчёта объёма потребления потреблённых энергетических ресурсов. Задачами являются: анализ существующих методов расчета платы за потребленное тепло; разработка функциональной схемы расчета объемов потребленного тепла, разработка нейросети, имитирующей обработку информации по учету потребленного тепла, обоснование возможности внедрения предлагаемых систем учета энергоресурсов.

### Основная часть

В работе [3] предложена автоматизированная система распределения энергетических ресурсов. В работе рассмотрена логика работы программно-технического комплекса (ПТК) в части учёта, передачи и использования информации о потреблённых ресурсах в системах энерго и ресурсоснабжения (рисунок 1).

Описывая логику учёта и передачи данных для дальнейшего формирования реестра показаний потребления коммунальных и (или) энергетических ресурсов, можно выделить определённые компоненты.

В первую очередь должна быть сформирована база данных (БД) индивидуальных приборов учёта (ИПУ).

После проверки БД ИПУ принимается решение о начислении по нормативу или же по показаниям ИПУ. Если же ИПУ есть в БД, то происходит ряд проверок, например, на истечение срока поверки ИПУ или на корректность данных об объёме потребления (текущие показания не могут быть меньше предыдущих или отрицательными).

Из анализа формул расчёта за потреблённую тепловую энергию (рисунок 2) можно построить схему обработки информации (рисунок 3).

Имеется  $n$  входных сигналов  $X_1 \dots X_n$ , которые поступают от других нейронов и подаются на вход сумматора  $\Sigma$ . При этом сигнал от каждого нейрона имеет разную значимость, «вес» и, соответственно, может быть скорректирован введением своего рода поправочного коэффициента  $W_1 \dots W_n$  – «веса» каждого входного сигнала, весовых коэффициентов, то есть коэффициентов связи между нейронами.

Схема нейронной сети для учета потребления тепловой энергии приведена на рисунке 4.

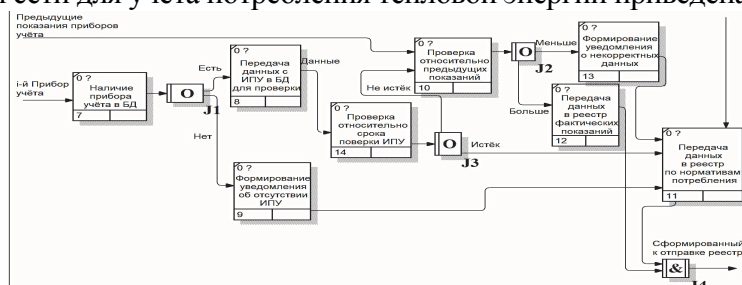


Рисунок 1 – Декомпозиция процесса обработки входящих данных для формирования реестра показаний в нотации IDEF3

$$P_i = \left( V_i + \frac{S_i \times (V^{\text{н}} - \sum V_i)}{S^{\text{об}}} \right) \times T^{\text{т}},$$

$$P_i = \left( V_i^{\text{н}} + V_i^{\text{обн}} \times \frac{S_i}{S^{\text{об}}} \right) \times T^{\text{т}}$$

$$V_i = S_i \times \frac{V^{\text{н}}}{S^{\text{об}} - S^{\text{инд}} + S^{\text{он}}},$$

$$V_i^{\text{одн}} = V^{\text{н}} - \sum_i V_i^{\text{н}}$$

$$P_i = \left( V_i + \frac{S_i \times (V^{\text{н}} - \sum V_i)}{S^{\text{об}}} \right) \times T^{\text{т}},$$

$$\Delta P_i = \sum_{i=1}^k P_i \times \sum_{q=1}^p m_{q,i} - P_i$$

$$V_i = S_i \times \frac{\sum V_{\text{ИПУ}}}{\sum S_{\text{ИПУ}}},$$

Рисунок 2 – Формулы расчёта за потреблённую тепловую энергию

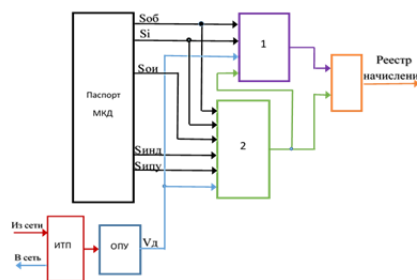


Рисунок 3 - Схема обработки информации

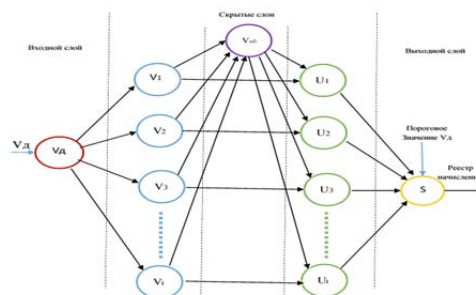


Рисунок 4 - Схема нейросети учета потребления тепловой энергии

$V_d$  – показания общедомового прибора учета  
 $V_1 - V_i$  - потребленное тепло в помещениях  
 $U_1 - U_i$  – потребленное тепло в помещениях с учетом потерь на общедомовые помещения;

$S$  – Суммарное потребленное тепло

Между входным и выходным слоями могут быть добавлены промежуточные скрытые слои со многими связями между различными нейронами, которые и выполняют основные вычислительные операции.

### Заключение

В ходе работы осуществлён комплексный анализ и оценка текущего состояния и тенденций изменения средств автоматизации и мониторинга процессов потребления тепловой и электрической энергии.

Результатами работы являются: модель нейронной сети, позволяющей реализовать сбор необходимых данных, достоверность переданных данных и проверка адекватности работы системы распределения энергоресурсов. Также фрагмент программного кода, позволяющего организовать сбор и обработку данных по потреблённым ресурсам.

Полученные результаты могут быть применены для повышения эффективности и рациональности распределения энергетических ресурсов в современных энергетических сетях [4].

### Благодарности.

Исследование выполнено в рамках научного проекта, финансируемого за счет средств ФГБОУ ВО КнАГУ № ВН11/2022.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ищенко А.С., Сафонов Н.Е., Колосова Н.В. Повышение энергоэффективности тепловых пунктов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. - 2021. - №3(24). - С. 6-10.
2. Потапенко А. Н. Автоматизированное управление процессом централизованного теплоснабжения распределенного комплекса зданий с учетом моделирования этих процессов / А. Н. Потапенко, Е. А. Потапенко, А. С. Солдатенков, А. О. Яковлев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2007. – № 7-8. – с. 120-134.
3. Куделько А.Р. Инновационная автоматизированная система распределения энергоресурсов с подсистемой регистрации данных по потребленным коммунальным ресурсам / Куделько А.Р., Маслов В.И.// Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы VI международной научно-практической конференции молодых учёных: в двух частях. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО "КнАГУ", 2023. - ч.1. - С. 369-373.
4. Алимкулова С.Р., Абдуллаязнова Э.Ю. Автоматизация индивидуальных тепловых пунктов // Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. - 78 с.

УДК 534.864

Медовник Сергей Григорьевич, студент, Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал) Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики  
Medovnik Sergey Grigorievich, student, Khabarovsk Institute of Info-Communications (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics

Шибек Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Shibeko Roman Vladimirovich, Senior Lecturer, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ЗВУКОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАДИОНА**

### **SOUND SUPPORT OF THE STADIUM**

Аннотация. В статье формулируются сложности, с которыми сталкивается специалист по акустическому оформлению крупных объектов на примере стадиона; указываются недостатки широкополосных громкоговорителей; формулируются положительные стороны линейных акустических систем, а также приводятся данные таких систем и примеры их расположения в пространстве. Статья носит обзорный характер.

Abstract. The article formulates the difficulties faced by a specialist in the acoustic design of large objects using the example of a stadium; the disadvantages of wideband loudspeakers are indicated; the positive aspects of linear acoustic systems are formulated, and data of such systems and examples of their location in space are also given. The article is of a review nature.

Ключевые слова: звук, акустика, звуковое давление, линейные массивы, датчик.

Keywords: sound, acoustics, sound pressure, line arrays, sensor.

#### **Введение**

Спроектировать акустику, чтобы получить захватывающее, волшебное ощущение сопричастности к действию на стадионе, непросто, так как необходимо учитывать большие криволинейные поверхности – трибуны, также учитывать длительное время реверберации, то есть постепенное уменьшение интенсивности звука за счет его отражения от поверхностей. Также сложность заключается в том, что спортивные помещения имеют большой внутренний объем и множество отражающих звук поверхностей. Для равномерного покрытия звуком пространства подходят далеко не любые места крепления громкоговорителей, что усложняет процесс проектирования. Важной задачей становится проектирование такой аудиосистемы, которая обеспечит зрителю разборчивую речь и музыку. Также необходимо учитывать погодные условия эксплуатации.

#### **Основная часть**

В большинстве случаев система звукоусиления для спортивных мероприятий и шоу-концертов на стадионе является комбинированной. В нее входит сам источник звука, приборы для обработки и усиления звуковых сигналов и сами приборы, которые излучают звук – акустические системы или громкоговорители. Использование комбинированных систем аудиосистем для стадиона позволяет добиться высокого уровня разборчивости речи и хорошего качества звучания.

Учитывая, что на спортивных объектах озвучиваются большие пространства, необходимо использование оборудования высокой мощности. В этом и заключается проблема выбора акустических систем для стадиона. Так как уровень стороннего шума на трибунах достигает от 95 до 100 дБ, то оптимальный уровень звукового давления от акустической системы должен составлять от 100 до 110 дБ [1]. В таком случае, при использовании обычного громкоговорителя на высоте от 8 до 12 м, в зависимости от высоты подвеса, их мощность должна быть около 400-600 Вт и так как одним громкоговорителем равномерно подать звук на один сектор не получится, будет необходимо использование двух-трех таких устройств. То есть, мощность каждой такой группы громкогово-

рителей будет составлять больше 1000 Вт, что является большим значением учитывая всю систему стадиона и слишком энергозатратным и экономически невыгодным [2, 3].

При использовании широкополосных громкоговорителей, проблема сохраняется. Они имеют слишком большие габариты (размер и вес) и высокую стоимость. Они также имеют узкую направленность, что требовало бы использования нескольких устройств на сектор.

Для решения этой проблемы существуют акустические системы, которые называют линейными массивами [4]. Линейным массивом называют упорядоченный комплекс акустических систем, направленный на более равномерное заполнение звуком значительного пространства при минимальных искажениях. Линейный массив необходим для формирования зоны покрытия звукового поля примерно прямоугольной формы, в пределах которой звуковое давление имеет минимальные расхождения.

Например, рассмотрим линейные массивы серии CLA компании Inter-M [5]. Данный линейный массив собирается из отдельных модулей, например, CLA-5K/CLA-8K. Данная конструкция образует единый кластер. Также дополнительно в массив могут подключаться сабвуферы. Имеют дублирующие разъемы, что позволяет выполнять параллельное подключение к усилителю мощности.

CLA-5K и CLA-8K отличаются массогабаритными и частотными характеристиками, выходной мощностью, но имеют схожую друг на друга конструкцию, что позволяет применять к ним одинаковый монтаж для размещения.

Для снижения неравномерности звукового поля наилучшим способом будет расположить линейные массивы существенно выше уровня поверхности пола в наклоненном положении к стороне озвучивания. При данной установке изменение звукового давления при расстоянии от источника звука в два раза составит всего 3 дБ, когда при вертикальном прямом расположении на полу эти искажения составляют 6 дБ, что показано на рисунке 1.

Таблица 1 – Характеристики CLA-8K

Номинальная мощность	НЧ: 450 Вт; ВЧ: 60 Вт
Максимальное звуковое давление	НЧ: 124,6 дБ; ВЧ: 122,69 дБ
Чувствительность (1 Вт/1 м)	НЧ: 98,1 дБ; ВЧ: 104,9 дБ

Таблица 2 – Характеристики CLA-5K

Номинальная мощность	НЧ: 160Вт; ВЧ: 30 Вт
Пиковая мощность	НЧ: 640 Вт; ВЧ: 120 Вт
Максимальное звуковое давление	НЧ: 118 дБ; ВЧ: 122дБ
Чувствительность (1 Вт/1 м)	НЧ: 93 дБ; ВЧ: 105 дБ

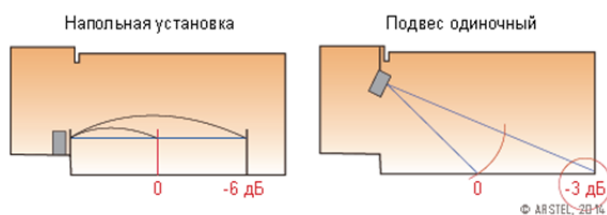


Рисунок 1 – Распределение звукового давления в зависимости от расположения акустического модуля

Для каждого стадиона необходимо индивидуальное количество самих модулей в массиве, подбор оптимального угла наклона по вертикали, а также мощность на громкоговорителях. Подробные индивидуальные параметры в наше время рассчитываются с хорошей точностью с использованием профессиональных программ.

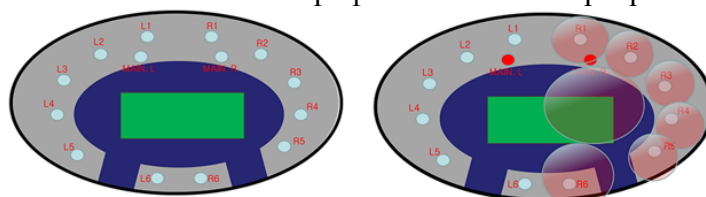


Рисунок 2 – Пример размещения линейных массивов на стадионе

На рисунке 2 показаны массивы L1–L6 и R1–R6, необходимые для озвучивания трибун. Направлены вертикально в направлении слушателей. Мощность регулируется в зависимости от высоты и угла наклона. Данное расположение позволило обеспечить максимально неискаженное звучание во всех точках трибун. MAIN L и MAIN R – массивы, необходимые для озвучивания поля и направленные на поле стадиона. Данное расположение позволило использовать минимальное количество массивов при полном озвучивании площади поля. Для звукоусиления на прилегающих территориях можно использовать рупорные громкоговорители ProAudio HD63T. Данное устройство является всепогодным громкоговорителем, работающий в диапазоне от -25 до 70 °С. является бюджетным вариантом, который достаточно точно и четко воспроизводит речь и музыку. Благодаря встроенному трансформатору работает на линиях на 8 Ом или 100 В.

Таблица 3 – Характеристики рупорного громкоговорителя HD63T

Номинальная мощность	15/30 Вт
Диапазон частот	250 – 10 000 Гц
Чувствительность	108 дБ
Максимальное звуковое давление	122 дБ

Данный рупорный громкоговоритель можно разместить в тех местах, где звуковое давление от линейных массивов достаточно низкое. Также в некоторых проходах на стадион и за ним, для гостей, которые еще не успели пройти в зону проведения мероприятия.

### **Заключение**

Таким образом, акустическая система стадиона должна формировать высокий уровень разборчивости речи и хорошее качество звучания. Основными проблемами при организации акустического обеспечения являются: учет сложных по конфигурации и больших по площади отражающих поверхностей; сторонний шум; необходимость подачи наиболее равномерного звука в секторе; необходимость снижения мощности громкоговорителей; создание всепогодной аудиосистемы. Наиболее оптимальным на сегодняшний день является использование линейных акустических массивов.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Ковалгин, Ю. А. Аудиотехника: учебник / Ю. А. Ковалгин, Э. И. Вологдин. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2017. – 742 с. – ISBN 978-5-9912-0241-1. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://eJanbook.com/book/111065> (дата обращения: 19.12.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Вахитов, Ш.Я. Акустика: учебник для вузов / Ш. Я. Вахитов, Ю. А. Ковалгин, А. А. Фадеев, Ю. П. Щевьев; под ред. Ю. А. Ковалгина. - Москва : Горячая линияТелеком, 2009. – 664 с.
3. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов / И. А. Алдошина, Э. И Вологдин, А П. Ефимов и др.; Под ред. Ю. А, Ковалгина. - М. Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007. - 872 с.
4. Смирнов, Д. Н. Эволюция многоканальных пространственных систем воспроизведения звука / Д.Н. Смирнов // Электронный научный журнал «Медиамузыка». – 2020. - № 11. - URL: [http://mediamusic-journal.com/Issues/11\\_6.html](http://mediamusic-journal.com/Issues/11_6.html) (дата обращения: 19.12.2023). – Режим доступа: свободный.
5. Мероприятия вне помещений / трансляции / звуковое оповещение // Yamaha. Make Waves сайт. URL: [https://ru.yamaha.com/ru/products/ contents/ proaudio/musicianspa/yras\\_013\\_event\\_festival\\_mid.html](https://ru.yamaha.com/ru/products/ contents/ proaudio/musicianspa/yras_013_event_festival_mid.html) (дата обращения: 03.02.2024). – Режим доступа: свободный.



УДК 621.771.06

Медовник Сергей Григорьевич, студент, Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал) Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики  
Medovnik Sergey Grigorievich, student, Khabarovsk Institute of Info-Communications (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics

Шибек Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Shibeko Roman Vladimirovich, Senior Lecturer, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПРОКАТА**

### **THICKNESS MEASUREMENT SYSTEM**

Аннотация. В статье представляется проект системы измерения толщины проката; обосновывается необходимость такой системы исходя из важности прокатных изделий для различных отраслей промышленности и необходимости повышения их качества; поясняются параметры системы и метод измерения толщины прокатного листа; перечисляются управляемые микроконтроллером устройства и необходимые для этого датчики; частично выбирается элементная база системы; приводится функциональная схема устройства и поясняется принцип ее работы.

Abstract. The article presents a design for a system for measuring the thickness of rolled products; the need for such a system is substantiated based on the importance of rolled products for various industries and the need to improve their quality; the system parameters and method for measuring the thickness of rolled sheets are explained; the devices controlled by the microcontroller and the sensors required for this are listed; the element base of the system is partially selected; a functional diagram of the device is given and the principle of its operation is explained.

Ключевые слова: прокат, датчик, лазер, сталь, прокатный стан.

Keywords: rental, sensor, laser, steel, rolling mill.

#### **Введение**

*Черная металлургия* – один из достаточно весомых камней в фундаменте современного производства. И соответственно прокат черных металлов очень важен. Россия занимает пятое место по производству стали. Показатель очень хороший с учетом численности населения. Прокатке подвергается не менее 60% выплавляемой стали. Как правило в черной металлургии прокатка является завершающим этапом технологического процесса. Доля листового проката в общем производстве проката приблизительно 60%. Доля холодного проката составляет приблизительно 30%, соответственно около 70% приходится на горячий прокат. Листовой прокат в общей структуре экспорта черных металлов составляет около 21%. Видно, что прокатные изделия в какой-то мере являются фундаментом для очень многих последующих производственных цепочек. Естественно, актуальность повышения качества проката не вызывает сомнений. Без гарантированных метрологических параметров изделий здесь не обойтись. Ниже представлена измерительная система контроля прокатных листов. Контролю подлежат толщина листа в контрольных точках и его ширина. Основой системы служат высокотехнологичные лазерные датчики. Точность датчиков, а также наличие персонального компьютера у оператора, который совершает математическую обработку результатов позволяет предполагать хорошие метрологические свойства.

#### **Основная часть**

Предлагается система, предназначенная для измерения толщины горячекатаного листа от 0,4 до 50 мм с точностью не хуже 3%, при этом ширина листа измеряется от 1 до 2 м. Длина листа от 1 до 6 м.

Система устанавливается перед намоточно-свертывающей машиной (моталкой). Связь с пультом оператора происходит по протоколу Bluetooth.

Измерение толщины металла производится с помощью лазерных датчиков, которые установлены сверху и снизу на специальной скобе. Верхние и нижние лазерные датчики установлены строго напротив друг друга. Скоба подсоединена к шаговому двигателю и благодаря ему совершает поперечные движения.

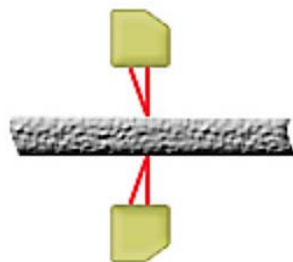
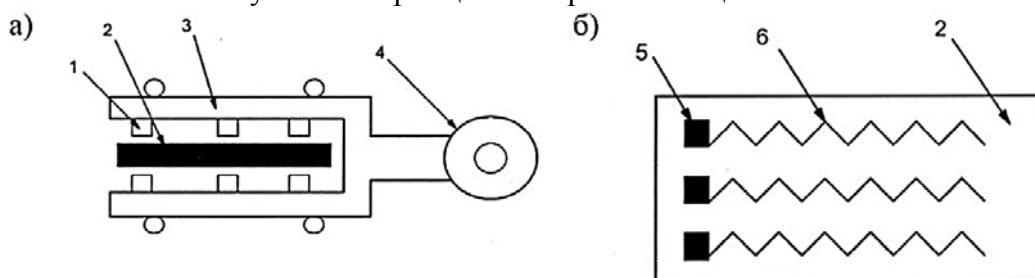


Рисунок 1 – Принцип измерения толщины листа



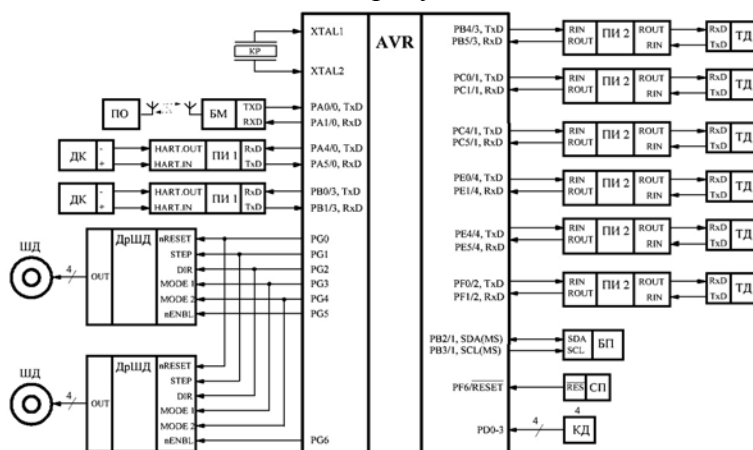
1 – лазерный датчик; 2 – лист проката; 3 – скоба; 4 – шаговый двигатель;  
5 – проекция лазерных лучей на лист; 6 – «траектория» сканирования

Рисунок 2 – Измерение толщины проката:

а - скоба с лазерными датчиками; б - сканирование листа проката

Лазерные датчики кромки находятся по краям листа. Шаговый электродвигатель сдвигает их навстречу друг другу. При фиксации кромки процесс останавливается, но периодически наличие кромки проверяется. Результаты измерений передаются по Bluetooth на пульт оператора.

Функциональная схема показана на рисунке 3.



КР – кварцевый резонатор; AVR – микроконтроллер; ПО – пульт оператора;  
БМ – блютуз-модуль; ДК – датчик кромки; ПИ1 – преобразователь интерфейсов «токовая петля-UART»; ДрШД – драйвер шагового двигателя; ШД – шаговый двигатель;  
ПИ2 – преобразователь интерфейсов UART-RS232; ТД – триангуляционный датчик;  
БП – блок памяти; СП – супервизор питания; КД – контактные датчики

Рисунок 3 – Функциональная схема системы

Основным системы управляющим и вычислительным элементом является микроконтроллер, соединенный со всеми блоками по радиальному принципу. Датчики кромки имеют выход «токовая петля» с поддержкой HART-протокола. Для связи с

микроконтроллером используется преобразователь интерфейсов ПИ1. Другой преобразователь интерфейсов ПИ2 используется для связи микроконтроллера с триангуляционными лазерными датчиками, у которых выходной интерфейс – RS-232.

Память системы использует интерфейс I2C. По интерфейсу UART идет обмен информацией с блютуз-модулем. Отдельные линии порта PG микроконтроллера выделены для формирования управляющих сигналов драйверов шаговых двигателей. Также напрямую к портам подключены контактные датчики, которые контролируют точки крайних положений скобы с триангулярными датчиками и балки с датчиками кромки.

Функциональная схема ориентирована на использование современных компонентов: микроконтроллер AVR128DB64; супервизор питания MAX811; bluetooth-модуль FSC-BT826; оптические датчики для контроля кромки и ширины объекта Balluff BOL 27; контроллер шагового двигателя DRV8825; лазерные триангуляционные датчики PФ603; микросхема памяти EEPROM M24512-W; шаговый двигатель 17HS1352-P4130; и другие.

### **Заключение**

Таким образом, представлен проект на функциональном уровне системы измерения параметров листов горячекатаного проката. Предположительная точность измерения параметров не хуже 3%, которая обеспечивается точностью измерительных датчиков, а также возможностью использования математической обработки результатов измерений специализированным приложением на компьютере оператора. Актуальность такой системы вне сомнения. Использование специализированных драйверов для управления шаговыми двигателями с цифровыми входами, лазерных датчиков, блока памяти и bluetooth-модуля со стандартными цифровыми интерфейсами способствуют несложному подключению их к центральному микроконтроллеру. Взаимодействие системы с оператором осуществляется по bluetooth-каналу с компьютера что добавляет удобство пользователю. В системе используются современная элементная база.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Металлургические базы России // Интернет-портал «METALL PLACE» : сайт. URL: <https://metallplace.ru/about/stati-o-chnoy-metalurgii/metallurgicheskie-bazy-rosii/#:~:text=%D0%A1%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B8%20%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%BC%D0%BE%D0%B6%D0%BD%D0%BE%20%D0%B2%20> (дата обращения: 12.10.2023). – Режим доступа: свободный.
2. Накипелов, В. С. Оборудование для намотки сортового проката и катанки. Теория и конструкции : учебное пособие / В. С. Накипелов. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. – 140 с. – ISBN 978-5-9729-0206-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/108644> (дата обращения: 14.08.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Кириллов, В. И. Метрологическое обеспечение технических систем : учебное пособие / В. И. Кириллов. – Минск : Новое знание, 2013. – 700 с. – ISBN 978-985-475-550-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/5427> (дата обращения: 14.08.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Прокатные станы – основные виды и конструкция // Met-all.org : сайт. URL: <https://met-all.org/oborudovanie/prochee/prokatnye-stany-osnovnye-vidy-i-konstruktsiya.html> (дата обращения: 24.10.2023). – Режим доступа: свободный.
5. Виды прокатных станов, прокатные и штампованные профили // Это металл. Металлы и сплавы: свойства и обработка : сайт. URL: <https://etm-cherepovets.ru/instrumenty-i-stanki/prokatnyj-stan.html> (дата обращения: 22.10.2023). – Режим доступа: свободный.

УДК 628.8

Медовник Сергей Григорьевич, студент, Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал) Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики  
Medovnik Sergey Grigorievich, student, Khabarovsk Institute of Info-Communications (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics

Шибек Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Shibeko Roman Vladimirovich, Senior Lecturer, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖАНИЯ МИКРОКЛИМАТА В АВИАДИСПЕТЧЕРСКОЙ CLIMATE MAINTENANCE SYSTEM IN THE AIR CONTROL ROOM**

Аннотация. В статье представляется проект системы поддержания микроклимата в авиадиспетчерской с расширенными функциями; обосновывается необходимость такой системы исходя из сложности работы авиадиспетчера; перечисляются управляемые микроконтроллером устройства и необходимые для этого датчики; выбирается элементная база системы; приводится функциональная схема устройства и поясняется принцип ее работы.

Abstract. The article presents a design for a microclimate maintenance system in an air traffic control tower with advanced functions; the need for such a system is substantiated based on the complexity of the air traffic controller's work; the devices controlled by the microcontroller and the sensors required for this are listed; the element base of the system is selected; a functional diagram of the device is given and the principle of its operation is explained.

Ключевые слова: авиадиспетчер, микроклимат, температура, влажность, регулирование, датчик.

Keywords: air traffic controller, microclimate, temperature, humidity, regulation, sensor.

### **Введение**

Средняя температура на Земле повышается. Конечно, идут споры о причинах этого, но факт есть факт. Повышение этой температуры приводит к тому, что диапазон колебаний погодных условий увеличивается. Чаще наступают то засухи, то жара, то наводнения, то холод и т.д.

Человек создал себе «вторую среду обитания». Здесь также ведутся споры хорошо это или плохо. Но это тоже факт. Оптимальные условия микроклимата надо поддерживать в быту и на рабочем месте. Для авиадиспетчеров, труд которых и так эмоционально напряжен (профессия внесена в «Список № 1 Производств, работ, профессий, должностей и показателей на подземных работах, на работах с особо вредными и особо тяжелыми условиями труда, занятость и которых дает право на пенсию по возрасту (по старости) на льготных условиях»), снятия дискомфорта условий работы важно.

Ниже предлагается система поддержания микроклимата в авиадиспетчерской с расширенными функциями (в скобках в тексте приводятся сокращения на функциональной схеме, которая приведена ниже).

### **Основная часть**

В авиадиспетчерской имеются: четыре вентилятора для перемешивания воздуха; пять радиаторов центрального отопления; увлажнитель воздуха (У); осушитель воздуха компрессионного типа (Ос); обогреватель (Об); охладитель воздуха (Ох); вентилятор подачи наружного воздуха; жалюзи воздуховода наружного воздуха; двенадцать очистителей стекол («дворники»); двенадцать устройств полива стекол.

Управление системой осуществляется с помощью смартфона (СМ) пользователя. Пользователь имеет возможность задать все параметры микроклимата, а также включить/выключить любое устройство для тест-контроля. Кроме того, на экран смартфона выводится все внештатные ситуации, например, отсутствие повышения

температуры в помещении при включении обогревателя что может говорить о возможной неисправности обогревателя.

В системе присутствуют электромагнитные устройства: пять электромагнитных клапана радиаторов отопления (ЭКРО); электромагнит открытия жалюзи воздуховода наружного воздуха (ЭОЖВНВ); двенадцать электромагнитных клапана полива стекол (ЭКПС); двенадцать электромагнитов включения механического устройство реверса дворников (ЭВМУРД).

В системе установлены конечные выключатели (в скобках указано количество выключателей): контактные датчики состояния вентиляторов перемешивания воздуха (КДСВПВ) (4); контактные датчики состояния клапанов радиаторов (КДСКР) (10); контактный датчик состояния вентилятора подачи наружного воздуха (КДСВПНВ) (1); контактные датчики состояния жалюзи (КДСЖ) (2); контактные датчики состояния дворников (КДСД) (24); контактные датчики состояния механического устройства реверса дворников (КДСМУРД) (24); контактные датчики состояния клапанов полива стекол (КДСКПС) (24).

Подключение устройств к сети переменного происходит посредством твердотельных реле (в скобках указано количество реле): твердотельное реле двигателей вентиляторов перемешивания воздуха (ТТРДВПВ) (1); твердотельные реле электромагнитных клапанов радиаторов отопления (ТТРЭКРО) (5); твердотельное реле увлажнителя воздуха (ТТРУ) (1); твердотельное реле осушителя воздуха (ТТРОс) (1); твердотельное реле обогревателя воздуха (ТТРОб) (1); твердотельное реле охладителя воздуха (ТТРОх) (1); твердотельное реле двигателя вентилятора подачи наружного воздуха (ТТРДВПНВ) (1); твердотельное реле электромагнита открытия жалюзи воздуховода наружного воздуха (ТТРЭОЖВНВ) (1); твердотельные реле двигателей стеклоочистителей (ТТРДС) (12); твердотельные реле включения механических устройств реверса дворников (ТТРЭВМУРД) (12); твердотельные реле электромагнитов клапанов полива стекол (ТТРЭКПС) (12).

Датчики системы: датчик температуры внешнего воздуха (ДТВВ); четыре датчика температуры и влажности внутреннего воздуха расположенные по углам помещения (ДТВнВ).

Неуказанные сокращения в функциональной схеме: КР – кварцевый резонатор (1); AVR – микроконтроллер; БМ – блютуз-модуль (1); РП – расширители портов (5); ПИ – преобразователь интерфейсов (1); ТУ – токовый усилитель (48); ДВПВ – двигатели вентиляторов перемешивания внутреннего воздуха (4); ДВПНВ – двигатель вентилятора подачи наружного воздуха (1); ДС – двигатели стеклоочистителей (12); БП – блок памяти (1).

Мытье стекол витражей осуществляется по требованию пользователя через меню в смартфоне. На рисунке 1 представлена функциональная схема системы.

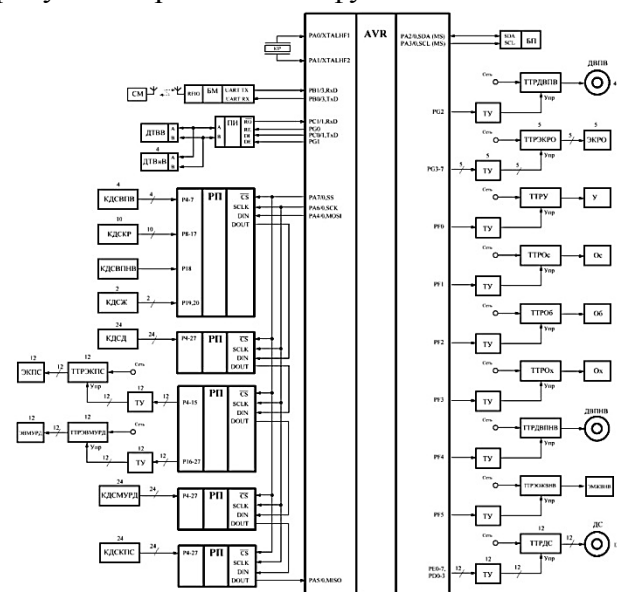


Рисунок 1 – Функциональная схема системы

Микроконтроллер опрашивает датчики, подключает необходимые устройства к сети или отключает их, опрашивает контактные датчики. В системе применяются расширители портов соединенные каскадно.

Предложенная система поддержания микроклимата учитывает все параметры необходимые для комфортной работы авиадиспетчеров и ориентирована на использование современных компонентов: микроконтроллер AVR128DB64; супервизор питания MAX8114; BLUETOOTH-модуль HC-06; датчик температуры и влажности MSU44RHT; датчик температуры ES-ТЕМВ-02; контактный датчик ВККП-7121; расширитель портов MAX 7301; микросхема памяти EEPROM M24512-W; и другие.

### **Заключение**

Таким образом, представлен проект на функциональном уровне системы поддержания микроклимата в авиадиспетчерской. Помимо обычных для того рода систем поддержания температуры и влажности имеется функция обеспечения чистоты витражей. Актуальность такой системы вне сомнений. Пояснены управляемые компоненты системы; частично выбрана элементная база; приводится функциональная схема системы и пояснен принцип ее работы. Настройка параметров микроклимата производится со смартфона что добавляет удобство пользователю. В системе используются современная элементная база.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. О списках работ, производств, профессий, должностей, специальностей и учреждений (организаций), с учетом которых досрочно назначается страховая пенсия по старости, и правилах исчисления периодов работы (деятельности), дающей право на досрочное пенсионное обеспечение : официальное издание : постановление правительства Российской Федерации от 16 июля 2014 г. № 665 - Москва : постановление правительство Российской Федерации. Электрон. версия печ. изд. URL: <http://static.government.ru/media/files/41d4f34dda04e8927d2b.pdf> (дата обращения: 27.10.2023). Доступна на сайте правительства Российской Федерации <http://government.ru/> – Режим доступа: свободный.

2. Монтаж, эксплуатация и сервис систем вентиляции и кондиционирования воздуха: Учебн.-справ. пособие / С.П. Бурцев, А.В. Блинов, Б.С. Востров, В.Е. Минин [и др.]; Под общ. ред. проф. В.Е. Минина. – СПб.: Профессия, 2005. – 376 с.

3. Кашкаров? А. П. Установка, монтаж и обслуживание кондиционеров / А. П. Кашкаров. - Москва: ДМК Пресс, 2011. - 120 с.

4. Микроклимат - просто о сложном // «MARTSPLIT.ru : сайт. URL: <https://smartsplit.ru/prosto-o-slozhnom---mikroklimat> (дата обращения: 03.10.2023). – Режим доступа: свободный.

5. Влияние на здоровье и безопасность // Компания «Умный климат» : сайт. URL: <https://iclim.ru/articles/bezopasnost/> (дата обращения: 23.10.2023). – Режим доступа: свободный.

УДК 621.311

Минько Дмитрий Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Minko Dmitriy Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Куделько Анатолий Романович, профессор, кандидат технических наук, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kudelko Anatoly Romanovich, professor, candidate of technical sciences, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

### **INTELLIGENT ENERGY CONSUMPTION MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM**

Аннотация. В работе рассматривается перспективность и эффективность использования устройства, учитывающая и контролирующая потребления энергетических ресурсов, а также в работе выделяются основные принципы функционирования данной системы, включающая сбор и анализ данных о потреблении энергии, выявление утечек и возможностей для оптимизации, помимо этого в данной системе предусмотрено автоматизированное управление энергопотреблением.

Abstract. The work examines the prospects and efficiency of using the device, which takes into account and controls the consumption of energy resources, and also highlights the basic principles of operation of this system, including the collection and analysis of energy consumption data, identification of leaks and opportunities for optimization, in addition, this system provides automated energy management.

Ключевые слова: Мониторинг, энергопотребление, удаленный контроль, энергоресурсы, экология.

Key words: Monitoring, energy consumption, remote control, energy resources, ecology.

#### **Введение**

Современный мир насыщен технологическими достижениями, и одной из ключевых потребностей сегодняшнего общества является энергоэффективность. Как организации, так и частные домохозяйства сталкиваются с растущими затратами на энергию. В этой связи, контроль над потреблением энергоресурсов становится критически важным. Один из способов достичь этой цели - использовать удаленный доступ для мониторинга и управления энергосистемами.

Для того чтобы понимать, что же такое энергоресурсы необходимо дать определение. Энергоресурсы — это все виды энергии и ресурсов, которые используются для обеспечения производственного процесса. К ним относятся электроэнергия, тепловая энергия, вода, пар, газ и многое другое. Эти ресурсы являются одной из основных составляющих себестоимости продукции и влияют на конкурентоспособность и экологичность.

Интеллектуальная система мониторинга и управления потреблением энергоресурсами (ИСМиУПЭ) представляет собой комплекс технических средств и программного обеспечения, предназначенный для оптимизации и контроля потребления энергоресурсов на предприятии или в здании.

#### **Основная часть**

Ключевые задачи ИСМиУ- сбор и передача данных показателей с потребляемых устройств, а также обеспечение безопасного хранения информации и возможность дистанционного управления режимами работы.

ИСМиУ может применяться как в промышленности, как и жилых секторах. Оператор может задать определённый промежуток фиксации замеров, а в связи с этим, нет необ-

ходимости фиксировать показания лично, программное обеспечение (ПО) автоматически передаёт показания на удаленный сервер.

Установка данной системы позволяет выявлять хищение электроэнергии и утечки тока за счёт модуля защиты. Погрешность данной системы крайне мала и дает возможность эффективной и точный мониторинг потреблением энергоресурсами. Установка данной системы на предприятии позволяет контролировать потреблением энергоресурсов не только всего завода, но и его отдельных цехов и отделов(подразделений), способствуя ведению учета и правильному планированию режима работы. Но, невзирая на множество положительных характеристик, система ИСМиУПЭ имеет значимый недостаток. Данная технология при подключении большого количества потребителей, увеличивает вероятность выхода из строя каких-либо составляющих системы. Система нуждается в постоянном техническом обслуживании при значительных тратах. Но если будущие затраты и эффект от установки оценены правильно, то система в кратчайшее время окупит себя и начнет приносить прибыль.

Основными датчиками для ИСУиМПЭ являются датчики учета потребления электроэнергии (мощности), но чаще всего, для частных жилых секторов устанавливаются различные периферийные датчики по типу использования самой системы. Датчики, установленные на различных устройствах и системах, собирают данные о потреблении энергии и передают их в систему обработки данных (СОД), а затем на удаленные серверы. Операторы и пользователи могут легко получать доступ к этим данным через веб-интерфейсы или мобильные приложения. Такой подход обеспечивает непрерывный контроль и обзор энергопотребления без необходимости присутствия физически на месте.



Рисунок 1-Процесс взаимодействия интеллектуальной системы для выполнения поставленных задач

Полный перечень всех возможностей ИСУЭЭ приведен разделе II «Перечень функций интеллектуальной системы учета и требования к ним», которые утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 19 июня 2020 года № 890, в связи с этим есть необходимость рассмотреть данный раздел для того, чтобы сформулировать основные задачи, которые должна выполнять программное обеспечение системы, чтобы данные задачи входили в рамки закона.



Рисунок 2- Структурная схема устройства контроля энергоснабжения с функцией ограничения мощности



После рассмотрения данного раздела были сформированы основные задачи, которые стоят перед ПО и разработчиком, которые представляют из себя:

1. Обеспечение эффективной обработки и анализа данных, собранных с множества точек учета, включая случаи, когда количество этих точек может достигать миллионов. При этом необходимо обеспечить высокую производительность системы.

2. Разработка механизмов для регистрации различных событий, происходящих с системой, включающие случаи несанкционированного доступа или возникновения нештатных ситуаций.

3. Проведение расчетов по потерям энергоресурсов в системе и составление балансов между производством, передачей и потреблением энергии.

4. Необходимо разработать структуру иерархии объектов учета и обеспечение актуальности нормативно-справочной информации для правильной работы системы.

5. Интеграция с другими информационными системами, используемыми в сфере учета энергоресурсов, с целью обмена данными и обеспечения интеграции.

6. Предоставление гибких настроек и функционала, позволяющих адаптировать программное обеспечение под конкретные потребности и бизнес-процессы заказчика.

### **Заключение**

В заключении можно отметить, что использование удаленного контроля для мониторинга и управления энергопотреблением является эффективным способом улучшения энергетической эффективности и экономии ресурсов. Это предоставляет множество практических и экологических преимуществ, делая системы энергопотребления более устойчивыми и эффективными. С развитием технологий и доступом к удаленному управлению, эффективное управление энергопотреблением становится доступным для всех и способствует более ответственному отношению к природным ресурсам. Это путь к более устойчивому будущему, обеспечивающему комфорт, экономию и экологическую безопасность.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Еремина М. А. Развитие автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ)//Молодой ученый-2015 г.-№3.-с 135-138. URL: <https://moluch.ru/archive/83/15320/> (дата обращения: 10.02.2024).

2. Дробышевский И. С., Алепко А. В. Анализ тенденций развития систем автоматизированного контроля и учета энергоресурсов // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки. – 2016. – №. 2. – С. 137. URL: [https://sibac.info/archive/technic/2\(38\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/2(38).pdf)

3. Козлов, А. В., Румянцев, В. П. Автоматизация контроля и учета энергоресурсов / /Приборы. – 2010. – №. 11 (125). – С. 19. URL: [https://pulsarm.ru/upload/iblock/2d4/12\\_2010.pdf](https://pulsarm.ru/upload/iblock/2d4/12_2010.pdf)

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 19.06.2020 № 890 "О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)"( с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2024) Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: по подписке.

5. Интернет сайт Министерства промышленности и энергетики России, URL: [www.mte.gov.ru/docs/32/1773.html](http://www.mte.gov.ru/docs/32/1773.html).

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДЗАРЯДКИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

### **DEVELOPMENT OF A CHARGING SYSTEM FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES**

Аннотация. В статье рассматривается бесконтактный способ зарядки аккумуляторных батарей беспилотных летательных аппаратов, который существенно снизит затраты на обслуживание, увеличит продолжительность автономной работы, зависящий от емкости аккумуляторной батареи. Время полета непосредственно зависит от грузоподъемности, которая определяет массу полезной нагрузки в виде различной аппаратуры, определяющей его функциональное назначение.

Abstract. The article discusses a contactless method of charging batteries of unmanned aerial vehicles, which will significantly reduce maintenance costs, increase the duration of battery life, depending on the capacity of the battery. The flight time directly depends on the payload capacity, which determines the mass of the payload in the form of various equipment that determines its functional purpose.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, бесконтактное устройство зарядки, беспилотный летательный аппарат.

Key words: rechargeable battery, contactless charging device, unmanned aerial vehicle.

#### **Введение**

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются энергоемкими устройствами, которые работают против гравитации и расходуют энергию батареи в течение нескольких часов во время полета. В процессе обслуживания БПЛА широко применяется метод замены аккумулятора для их подзарядки [1]. Этот метод включает отключение разряженного аккумулятора от БПЛА и замену на заряженный. Физическая замена батарей требует участия человеческого персонала, что может существенно ограничивать возможности автономных БПЛА в удаленных или труднодоступных районах.

Используется метод подзарядки батарей на специальных наземных станциях, которые могут быть как стационарными, так и мобильными. При посадке БПЛА на наземную зарядную платформу возникают трудности из-за различных факторов, которые могут привести к ошибкам при посадке и нарушению позиционирования аппарата, что, в свою очередь, затрудняет правильное соединение бортовых и наземных стыковочных элементов. Бесконтактная станция подзарядки дает возможность осуществлять передачу энергии от наземной платформы на борт летательного аппарата с помощью переменного магнитного поля, создаваемого в витках приемного контура на борту летательного аппарата и передающего контура на земле. Технология беспроводной зарядки имеет свои недостатки, такие как низкая эффективность, большой вес принимающей катушки, а также потенциальное воздействие электромагнитных волн на организм человека [2].

#### **Основная часть**

Проблема автономности БПЛА может быть решена путем увеличения емкости аккумуляторов или разработкой устройства беспроводной передачи энергии. Увеличение емкости аккумуляторов приводит к увеличению размеров и массы, что является не допустимым из-за особенностей работы БПЛА. Устройство беспроводной передачи энергии позволит заряжать аккумуляторы летательного аппарата во время их работы, без необходимости возвращения на базовую станцию или необходимости замены аккумуляторов. Для более эффективной работы бесконтактное устройство подзарядки беспилотных летательных аппаратов должно выполнять следующие функции: приемник должен преобразовывать напряжение, соответствующее напряжению аккумулятора; устройство долж-

но работать в широком диапазоне частот; осуществлять информирование в случае выхода из строя аккумуляторных батарей [3]. Для подзарядки аккумуляторов БПЛА будет разработано устройство, работающее по технологии бесконтактного приема-передачи электрической энергии. Данная система нивелирует недостатки устройств, связанных с необходимостью позиционирования при приземлении БПЛА на подзарядку, соответственно увеличит автономность работы БПЛА. Осуществлять передачу энергии от источника к приемнику можно с помощью явления электромагнитной индукции [4]. На рисунке 1 представлена функциональная схема бесконтактной подзарядки.

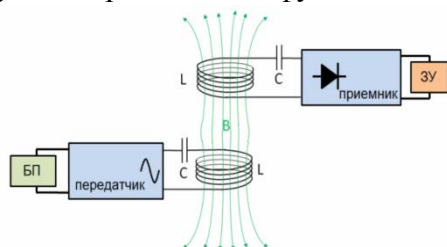


Рисунок 1 - Функциональная схема бесконтактной подзарядки

Эффективность индукционного метода можно повысить посредством внедрения в систему явления электрического резонанса. Использование колебательного контура, настроенного на резонанс, позволит своим действием существенно увеличить расстояние эффективной передачи. Чтобы возникло явление резонанса, передающий и приемный контуры должны быть настроены на одну общую частоту, поэтому задача разработки устройства, способного работать в широком диапазоне частот становится более актуальным [5]. В передатчике энергия постоянного электромагнитного поля от источника питания преобразуется в электромагнитный сигнал, изменяющийся во времени, который далее по каналу связи через воздушное пространство передается на приемник.

Принимаемая приемником от передатчика энергия с помощью выпрямителей преобразуется в постоянный ток, который и осуществляет зарядку аккумуляторной батареи БПЛА.

### Заключение

Необходимость приземления БПЛА на наземные станции для подзарядки аккумуляторных батарей или их замена на заряженные, несет за собой большие временные затраты и необходимость нахождения обслуживающего персонала на базовой станции, что является не всегда удобным. Бесконтактная подзарядка БПЛА предполагает наличие специализированной системы, способной передавать питание от передатчика с помощью электромагнитного сигнала на приемник, который преобразует полученный сигнал в соответствующее напряжение аккумуляторной батареи.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фетисов, В.С. Подзарядка электрических беспилотных летательных аппаратов: обзор существующих разработок и перспективных решений / В.С. Фетисов, М.И. Тагиров, А.И. Мухаметзянова // *Авиакосмическое приборостроение*. – 2013. – № 11. – С. 7–26.
2. Функциональные системы летательных аппаратов. Электрическое и электронное оборудование : учеб. пособие / А.Г. Гарганеев, Л.К. Бурулько, В.П. Петрович, А.П. Леонов ; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. - 240 с. - ISBN 978-5-4387-0705-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1043938> (дата обращения: 03.04.2024). – Режим доступа: по подписке.
3. Ахмеров, Ш.Р. Автоматическая система подзарядки электрических беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа / Ш.Р. Ахмеров // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. – 2013. – Т. 9. – № 1. – С. 5–9.
4. Патент № 135469 Российская Федерация Н03М5/22. Система подзарядки бортового аккумулятора воздушного робота / В.С. Фетисов, Ш.Р. Ахмеров, А.И. Мухаметзянова; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет». – 2013130463/07; заявл. 02.07.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.
5. Фетисов В.С., Ахмеров Ш.Р., Мухаметзянова А.И. Зарядный терминал для беспилотных летательных аппаратов на основе матрицы контактных площадок / В.С. Фетисов, Ш.Р. Ахмеров, А.И. Мухаметзянова // *Альманах современной науки и образования*. – Тамбов: Грамота, 2012. – № 11 (66). – С. 206–208.

УДК 681.518.5

Овчаренко Пётр Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ovcharenko Petr Alekseevich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ АНТЕНН**

### **DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC ANTENNA ALIGNMENT SYSTEM**

Аннотация. Для обеспечения надежной и эффективной связи в современных радиоэлектронных технологиях необходимо постоянное совершенствование антенных систем. В данной статье рассматривается проблема правильной настройки антенн и предлагается разработка специальной системы, которая позволит достичь оптимальной работы антенн и улучшить функционирование радиоэлектронных систем. Неправильная настройка антенн может привести к потере сигнала, помехам и низкому качеству связи. Основные принципы работы и методы настройки антенн, а также процесс их реализации, рассматриваются в статье. Разработанная система представляет собой эффективное решение для оптимизации работы радиорелейных антенн.

Abstract. In order to ensure reliable and efficient communication in modern electronic technologies, continuous improvement of antenna systems is necessary. This article discusses the problem of proper antenna configuration and proposes the development of a special system that will achieve optimal antenna performance and improve the functioning of radio electronic systems. Incorrect antenna settings can lead to signal loss, interference, and poor communication quality. The basic principles of operation and methods of antenna tuning, as well as the process of their implementation, are discussed in the article. The developed system is an effective solution for optimizing the operation of radio relay antennas.

Ключевые слова: антенна, юстировка, система юстировки, настройка.

Keywords: antenna, alignment, alignment system, tuning.

#### **Введение**

С внедрением новейших технологий и ростом числа беспроводных устройств, таких как смартфоны, планшеты, умные дома и автомобили, возрастает потребность в надежной и эффективной связи. Одним из важнейших компонентов радиоэлектронных систем является антенна - устройство, принимающее и передающее радиоволны. Корректная настройка антенн играет ключевую роль в обеспечении максимальной эффективности передачи и приема сигнала. Неэффективная настройка антенн может привести к ухудшению связи, потере сигнала, увеличению помех и интерференции. Поэтому возникает потребность в разработке системы автоматической юстировки антенн, которая позволит оптимизировать настройку антенн для достижения наилучших радиоэлектронных параметров [1].

Юстировка антенны — процесс установки ее в определенном направлении и настроенности для достижения наилучшего качества сигнала. Этот процесс включает в себя точную настройку антенны на определенную радиоволну и устранение возможных помех, таких как шумы или эхо. Важно отметить, что юстировка антенны может вносить существенное воздействие на силу и качество сигнала, а также на дальность связи.

Для того чтобы упростить задачу и сократить потраченное время необходима автоматическая система юстировки с возможностью минимизировать участие человека [2].

#### **Основная часть**

Настройка таких антенн в большинстве случаев производится при помощи специальных настроечных приспособлений на антенне (пример таких специальных приспособлений изображен на рисунке 1). Правильная юстировка таких антенн обязательна так как это на

прямою влияет на качество связи и из-за того, что на такой тонкий процесс воздействует человеческий фактор качество настройки не всегда хорошее. В ручном режиме поиск этого оптимального соединения может занимать очень много времени, особенно зимой или в непогоду настройка может переноситься или занимать еще больше времени.

На данный момент в мире существуют системы, помогающие человеку юстировать антенну точно, к примеру система VIAVI 3Z-RFV-2000 (рисунок 1) - прибор RF Vision (3Z Telecom).



Рисунок 1 - Оборудование VIAVI для юстировки антенн

### Структурная схема предлагаемого решения

В качестве системы юстировки антенны предлагается использовать устройство, структурная схема которого представлена на рисунке 2.

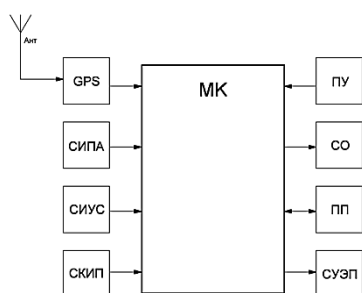


Рисунок 2 – Структурная схема системы

Представленная система состоит из микроконтроллера (МК), подключенного к нему следующих блоков:

- GPS модуль, этот блок предназначен для первичной ориентировки антенны по предварительно вбитым (ориентировочно) координатам антенны, на которую будет производиться настройка;
- система измерения положения антенны (СИПА), этот блок предназначен для определения горизонтального и вертикального положения антенны в пространстве;
- система измерения уровня сигнала (СИУС), этот блок предназначен для непосредственно точной юстировки антенны;
- приёмник, этот блок предназначен для приема обратного сигнала от антенны, на которую будет производиться настройка;
- система контроля источника питания (СКИП), этот блок предназначен для слежения уровня заряда аккумуляторов системы;
- пульт управления (ПУ), это блок предназначен для прямого контроля процессом юстировки и управлением системой юстировки;
- система отображения (СО), данный блок необходим для визуального контроля за процессом настройки;
- приёмопередатчик (ПП), позволяет принимать сигнал

После получения всех необходимых данных о положении двух антенн первичной ориентировки микроконтроллер подает сигналы на систему управления электроприводом (СУЭП), при помощи которого система начинает процесс автоматической юстировки [3].

### Заключение

Таким образом, разработанная система автоматической юстировки антенн представляет собой инновационное решение, способное оптимизировать функционирование радиоэлектронных систем. Применение данной системы позволяет существенно улучшить качество передаваемого сигнала, увеличить дальность связи и повысить общую эффективность работы антенн. Дальнейшее исследование в этой области позволит доработать систему автоматической юстировки антенн, расширить ее функциональность и повысить ее эффективность в рамках современных радиоэлектронных систем [4].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Должиков, В.В. Активные передающие антенны: Учебное пособие / В.В. Должиков, П.А. Вуд. – Москва: АСВ, 1984. – 144 с.
2. Антенны и устройства (СВЧ): расчет и измерение характеристик: учебное пособие для вузов / Ю. Е. Мительман, Р. Р. Абдуллин, С. Г. Сычугов, С. Н. Шабунин ; под общей редакцией Ю. Е. Мительмана. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 138 с.
3. Белов, Л. А. Радиоэлектроника. Формирование стабильных частот и сигналов : учебник для вузов / Л. А. Белов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 268 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14694-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/515389> (дата обращения: 16.11.2023).
4. Овчаренко, П. А. Система юстировки антенн / П. А. Овчаренко, А. В. Фролов // 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. 248-250. – EDN VYPJOZ.

УДК 53.089.6

Огнев Артем Алексеевич, студент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Ognev Artem Alekseevich, student, Far Eastern State Transport University

Шибeko Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shibeko Roman Vladimirovich, Senior Lecturer, Department of Industrial Electronics, Kom-somolsk-na-Amure State University

## КАЛИБРАТОР ДАВЛЕНИЯ

### PRESSURE CALIBRATOR

Аннотация. В статье представляется проект калибратора давления; обосновывается необходимость такой системы исходя из необходимости автоматизации сложных процессов; перечисляются управляемые микроконтроллером компоненты устройства и необходимые для функционирования устройства датчики; частично выбирается элементная база системы; приводится функциональная схема устройства и поясняется принцип ее работы.

Abstract. The article presents a design for a pressure calibrator; the need for such a system is substantiated based on the need to automate complex processes; the components of the device controlled by the microcontroller and the sensors necessary for the operation of the device are listed; the element base of the system is partially selected; a functional diagram of the device is given and the principle of its operation is explained.

Ключевые слова: калибратор, давление, манометр, датчик, интерфейс, микроконтроллер.  
Keywords: calibrator, pressure, manometer, sensor, interface, microcontroller.

### Введение

Калибровка – комплекс операций, который выполняют для того, чтобы определить фактические значения метрологических характеристик средств измерений. Калибровать можно любые средства измерений, однако, средства, которые используются в сфере государственного обеспечения единства измерений и подлежат метрологическому надзору, должны быть поверены в обязательном порядке.

Метрологическая поверка средств измерений – процедура подтверждения соответствия средств измерений установленным метрологическим требованиям. При по-

верке определяется погрешность, которая не должна превышать пределов, указанных в описании типа конкретного средства измерений.

Автоматизация производственных процессов не реализуема без точных измерений. Чтобы доверять результатам измерений надо производить калибровку и поверку приборов. Для калибровки/поверки нужен эталон. Причем для диапазонных измерений эталон также должен воспроизводить диапазон точных значений величины [1,2].

Калибратор давления – высокоточное измерительное устройство на основе микроконтроллерной техники, которое предназначается для использования в качестве эталонного прибора при калибровке и поверке различных типов измерительных приборов и датчиков давления [4,5].

### **Основная часть**

Ниже описывается калибратор давления. При помощи устройства можно калибровать/поверять измерительные приборы давления с визуальным снятием показаний в ручном режиме и датчики (преобразователи) давления с выходным аналоговым (токовая петля с поддержкой HART-протокола) или цифровым выходом (CAN-интерфейс, USB-интерфейс) – в автоматическом режиме. Тестирование приборов давления проводится с заданным шагом в установленном диапазоне в пределах значений давления от 0,1 до 10 МПа. Погрешность измерения устройства не более  $\pm 0,04\%$ .

Для пользователя в устройстве имеется сенсорный монитор с функциями задания диапазона калибровки/поверки, контрольных точек, автоматического оформления протоколов калибровки/поверки, записью и сохранением результатов. Устройство имеет возможность передачи информации по USB или по Bluetooth-каналу на вычислительные системы пользователя (персональный компьютер, планшет, смартфон). Процедура калибровки/поверки сопровождается звуковыми сообщениями для удобства пользователя, например, «конец процедуры».

Функциональная схема показана на рисунке 1 и состоит из следующих блоков: AVR – центральный микроконтроллер, управляющий работой всего устройства; ПД-HART – поверяемый датчик с HART-интерфейсом; М-HART – HART-модем, обеспечивает связь поверяемого датчика с микроконтроллером по стандарту Bluetooth; М-Б – модуль Bluetooth, обеспечивает связь с HART-модемом или с другими устройствами по стандарту Bluetooth (компьютер, смартфон, планшет); ПД-CAN – поверяемый датчик с CAN-интерфейсом; ПИ-CAN – преобразователь интерфейсов с CAN в USB для подключения к микроконтроллеру; СМ – сенсорный монитор для связи пользователя с устройством; ВОД – встроенный в устройство волоконно-оптический датчик давления, измеряющий давление в пневматической системе устройства, подаваемое на поверяемые приборы; ПИ-485 – преобразователь интерфейсов с RS-485 в USB для подключения к микроконтроллеру волоконно-оптического датчика; ТРД – встроенный тензорезисторный датчик давления, измеряющий давление в пневматической системе устройства, подаваемое на поверяемые приборы; ИУ – измерительный усилитель, служащий для усиления аналогового сигнала от тензорезисторного датчика; АЦП – аналого-цифровой преобразователь для преобразования аналогового сигнала от тензорезисторного датчика в цифровой и подключенный к микроконтроллеру по SPI-интерфейсу; БП – блок памяти, предназначенный для сохранения необходимой информации о результатах проведенных измерений и поверок; ГР – герконовые реле для управления работой электромагнитных клапанов пневмосистемы устройства; ЭМКВ – выпускной электромагнитный клапан для выпуска воздуха после измерений или перед новой накачкой; ЭМКЗ – запорный электромагнитный клапан, находящийся перед воздушным резервуаром и закрывающийся при накачке воздуха в резервуаре до необходимого давления; ТТР – твердотельное реле для включения/выключения двигателя насоса; ДН – двигатель насоса, создающего давление в пневматической системе устройства; ПК – персональный компьютер пользователя служащий для связи пользователя с устройством помимо сенсорного монитора; ДТ – датчик температуры для компенсации искажения результатов измерений, вызванное изме-

нением температуры окружающего воздуха; ДЗ – драйвер звука, формирующий для пользователя необходимую речевую информацию или команды во время работы устройства; Д – динамическая головка; СП – супервизор питания для контроля уровня напряжения питания микроконтроллера и организации процесс сброса микроконтроллера.

Устройство работает следующим образом. После подключения поверяемого датчика к пневмосистеме устройства и вводе пользователем параметров калибровки/поверки включается насос для подачи воздуха в пневмосистему. Воздух через пневмонакопитель и электромагнитный запорный клапан поступает на выход калибратора. Давление на выходе, подаваемое на поверяемый датчик, измеряется двумя встроенными эталонными датчиками давления (волоконно-оптический и тензорезисторный).

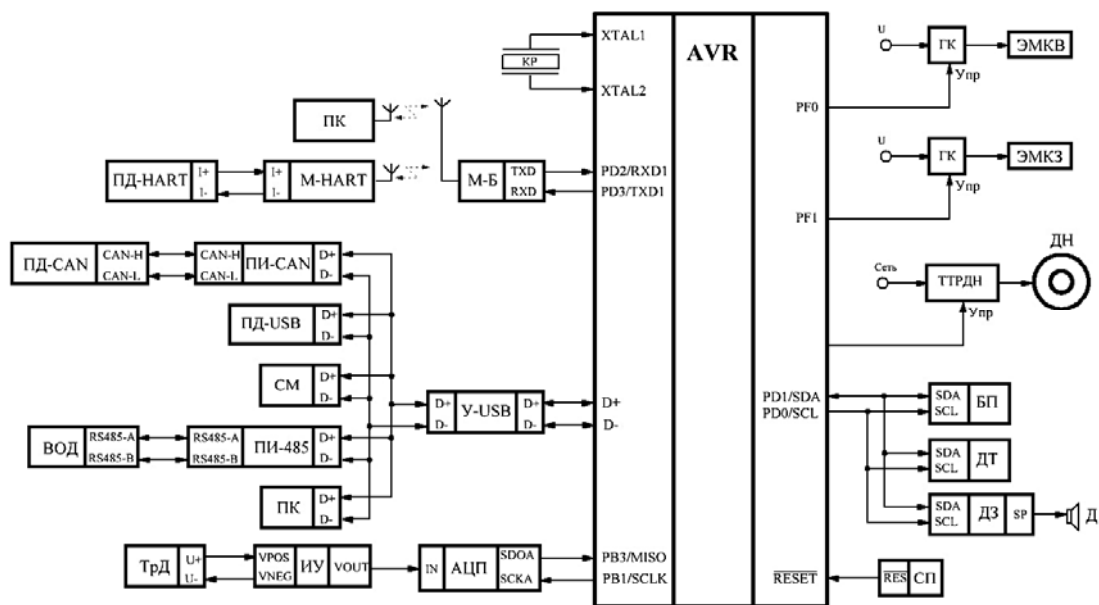


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства

Микроконтроллер постоянно получает информацию от тензорезисторного датчика через АЦП по интерфейсу SPI, от волоконно-оптического – через преобразователь интерфейсов по USB-интерфейсу. Для повышения точности производится 30 измерений давления каждым датчиком при данном давлении и вычисляется среднее значение результатов. Также получают результаты измерений от поверяемых датчиков. Далее насосом меняется давление в пневмонакопителе и процесс повторяется. После всей процедуры воздух выпускается наружу.

Функциональная схема ориентирована на использование современных компонентов: микроконтроллер ATmega32U4; супервизор питания MAX811; аналого-цифровой преобразователь LTC2508; датчик давления СТЭК-1; датчик давления волоконно-оптический Т3050К; микросхема цифровой записи/воспроизведения голоса ISD5102; микросхема памяти EEPROM AT24CM01; и другие.

### Заключение

Таким образом, устройство не только воспроизводит давление близкое к заданному пользователем, но и измеряет его двумя способами: оптическим и тензометрическим. А если учесть проведение математической обработки нескольких измерений [3], то точность будет оптимальной для калибровки/поверки используемых промышленных датчиков. К тому же устройство учитывает наличие в эксплуатации различных типов датчиков по параметрам и способам формирования выходной информации. Реализуются как автоматический, так и ручной режимы работы калибратора. Наличие сенсорного монитора упрощает работу пользователя с устройством при должном программном обеспечении.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кулебякин, В. В. Методы и приборы для измерения давления : учебно-методическое пособие / В. В. Кулебякин. – Минск : БНТУ, 2015. – 36 с.
2. Дивин, А. Г. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учебное пособие. В 5 ч. / А. Г. Дивин, С. В. Пономарев, Г. В. Мозгова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – Ч. 2. – 108 с.
3. Байтимиров, А. Д. Разработка метрологического комплекса для поверки приборов измерения давления / А. Д. Байтимиров, А. Р. Забирова, М. Л. Шустрова. – Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №8. – С. 233-234 // Электронно-библиотечная система. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-metrologicheskogo-kompleksa-dlya-poверki-priborov-izmereniya-davleniya/viewer> (дата обращения: 20.10.2023). – Режим доступа: по подписке.
4. Лепявко, А. П. Калибровка средств измерений давления. Конспект лекции: учебное пособие / А. П. Лепявко. – Москва : АСМС, 2022. – 40 с. – ISBN 978-5-93088-221-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/314057> (дата обращения: 13.08.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Бикулов, А. М. Поверка средств измерений давления и температуры: учебное пособие / А. М. Бикулов. – Москва : АСМС, 2004. – 436 с. – ISBN 5-93088-060-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/69316> (дата обращения: 13.08.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

УДК 621.06-665

Огнев Артем Алексеевич, студент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Ognev Artem Alekseevich, student, Far Eastern State Transport University

Шибек Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shibeko Roman Vladimirovich, Senior Lecturer, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **СИСТЕМА НАЛИВА СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ЦИСТЕРНЫ**

### **LOADING SYSTEM FOR LIGHT PETROLEUM PRODUCTS IN RAILWAY TANKS**

Аннотация. В статье представляется проект система налива светлых нефтепродуктов в железнодорожные цистерны; обосновывается необходимость такой системы исходя из распространенности железных дорог, всепогодности перевозок, большего объема перевозок; перечисляются функции и составные ее части системы; приводится функциональная схема системы и поясняется принцип ее работы.

Abstract. The article presents a project for a system for loading light petroleum products into railway tanks; the need for such a system is substantiated based on the prevalence of railways, all-weather transportation, and the greater volume of transportation; the functions and components of the system are listed; a functional diagram of the system is given and the principle of its operation is explained.

Ключевые слова: нефтепродукты, налив, вагон, система, автоматизация.

Keywords: petroleum products, loading, wagon, system, automation.

## **Введение**

Часто железнодорожный транспорт называют «кровеносной системой» страны. В целом в мире наблюдается уменьшение доли ж/д транспорта в грузо- и пассажиро-обороте. В основном этот процесс идет в развитых странах, но в развивающихся странах данный вид транспорта очень актуален. Тем не менее даже в развитых странах доля ж/д перевозок более 10%. В России на 2019 г. этот показатель относительно грузоперевозок составил 18%. Перевозка нефтепродуктов по железной дороге составляет 40% от всех перевозок этой категории. Исходя из этого автоматизация достаточно важного участка в процессе перевозки как их налив в цистерну достаточно актуальна.

Перевозка нефтепродуктов сопряжена с определенными рисками возгорания и взрыва смеси и ее паров, а также разлива и нанесения экологического вреда. Именно опасность техногенной аварии и экологической катастрофы явились причинами отнесения нефтепродуктов к III классу опасности. Безопасность всегда в приоритете, поэтому транспортировка осуществляется по строгим правилам.

Железнодорожный транспорт имеет преимущества по доставке нефтепродуктов: перевозка в любое время года; относительно водного транспорта большая скорость доставки; разветвленная сеть ж/д дорог; большой объем перевозимого груза за один раз.

## **Основная часть**

Ниже представлена система, предназначенная для дозированного налива в железнодорожные четырех- и восьмиосные цистерны светлых нефтепродуктов. К светлым нефтепродуктам относят;

- дизельное топливо (летнее, зимнее, арктическое);
- бензин (авто- и авиа-);
- керосин (авиационный, топливный, для растворения, резки металлов);
- лигроин.

Грузоподъемность цистерны должна быть не более 125 т, объем не более 162 м<sup>3</sup>. Система осуществляет полностью автоматизированный верхний негерметичный налив как по массе, так и по объему.

Система налива состоит из трех частей:

- Весоизмерительное устройство которое предназначено для измерения веса вагона и позволяет производить налив по массе. В данной статье не рассматривается.
- Пульт управления. В данной статье не рассматривается.
- Наружное наливное устройство.

Наливное устройство крепится над вагоном. Основные части устройства установлены на тали, которая движется по балке вдоль оси ОХ. Балка движется по направляющим вдоль оси ОУ. Таким образом, устройство позволяет установить таль в четко определенной области.

Движение кран-балки и тали осуществляется посредством электрических двигателей. Управление двигателями (положением устройства налива) осуществляется с пульта управления оператором при помощи джойстика, кроме того, оператор имеет возможность контролировать весь процесс налива со своего персонального компьютера и задавать параметры налива (массу или объем топлива и т.д.). Для ограничения движения балки и тали имеется конечные выключатели.

На тали находится:

- Модуль налива. Закрывает горловину цистерны (крышка). При позиционировании модуля точно над горловиной вагона он опускается на горловину при помощи соответствующего электродвигателя до тех пор, пока не сработает концевой датчик касания горловины.

– Телескопическая наливная труба. Труба опускается до дна вагона (для этого имеются соответствующий двигатель), до тех пор, пока не сработает концевой датчик,

установленный на конце трубы. Труба движется в модуле налива (крышке) на некотором расстоянии от середины. Труба соединена с насосом топливным шлангом. Насос вращается с соответствующим электродвигателем и находится вне подвижной части системы налива. Рядом трубой на модуле налива установлен ультразвуковой расходомер. Минимальный диаметр условного прохода трубы 150 мм.

– Ультразвуковой уровнемер. Уровнемер вмонтирован в модуль налива (крышку) и предназначенный для измерения уровня жидкости.

Налив производится в два этапа: вначале производится с медленной скоростью (около 20 м<sup>3</sup>/час), а далее – с полной скоростью (около 70 м<sup>3</sup>/час). Всеми частями наливного устройства системы налива управляет микроконтроллер. Помимо выше сказанного, в системе присутствует воздушный насос, предназначенный для продувки шланга и наливной трубы после окончания налива.

Функциональная схема системы показана на рисунке 1 (наливное устройство представлено подробнее). Схема построена по радиальному принципу. Опрос соответствующих контактных датчиков производится путем считывания информации с портов микроконтроллера, поэтому контактные датчики должны иметь цифровые выходы.

Состав системы: ДН – двигатель насоса нефтепродуктов; ДТ – двигатель тали; ДБ – двигатель балки; ДМН – двигатель модуля налива; ДНТ – двигатель наливной трубы; ДВН – двигатель воздушного насоса; ТУ – токовый усилитель; ТТРДНМ – твердотельное реле двигателя насоса нефтепродуктов, медленный налив; ТТРДНБ – твердотельное реле двигателя насоса нефтепродуктов, быстрый налив; ТТРДТЛ – твердотельное реле двигателя тали, движение влево; ТТРДТП – твердотельное реле двигателя тали, движение вправо; ТТРДБВ – твердотельное реле двигателя балки, движение вперед; ТТРДБН – твердотельное реле двигателя балки, движение назад; ТТРДМНВ – твердотельное реле двигателя модуля налива, движение вверх; ТТРДМНВн – твердотельное реле двигателя модуля налива, движение вниз; ТТРДНТВ – твердотельное реле двигателя наливной трубы, движение вверх; ТТРДНТВн – твердотельное реле двигателя наливной трубы, движение вниз; ТТРДВН – твердотельное реле двигателя воздушного насоса; КР – кварцевый резонатор; КДНТКД – контактный датчик наливной трубы касание дна; КДТС – контактный датчик тали средний; КДТП – контактный датчик тали правый; КДБД – контактный датчик балки дальний; КДБС – контактный датчик балки средний; КДББ – контактный датчик балки ближний; КДНТН – контактный датчик наливной трубы нижний; КДНТС – контактный датчик наливной трубы средний; КДНТВ – контактный датчик наливной трубы верхний; КДМНКГ – контактный датчик модуля налива касание горловины; СП – супервизор питания; БП – блок памяти; МБ – модуль Bluetooth; ПУ – пульт управления; Р – расходомер; ВУ – весоизмерительное устройство; УУ – уровнемер; AVR – микроконтроллер. Функциональная схема синтезирована с учетом что будут использоваться следующие компоненты: микроконтроллер AVR128DB64; супервизор питания MAX811; микросхема памяти EEPROM M24512-W; расходомер ультразвуковой PCE-VMI; Преобразователь интерфейсов MTM-HART; Уровнемер ультразвуковой УП-200; Bluetooth-модуль HC-06; и другие.

### **Заключение**

Таким образом, представлен проект на функциональном уровне налива светлых нефтепродуктов в железнодорожные цистерны. Актуальность такой системы вне сомнений. Пояснены управляемые компоненты системы; частично выбрана элементная база; приводится функциональная схема системы и пояснен принцип ее работы. Управление системой и контроль параметров производится с пульта оператора в качестве которого может выступать персональный компьютер, связанный с системой по Bluetooth-каналу.

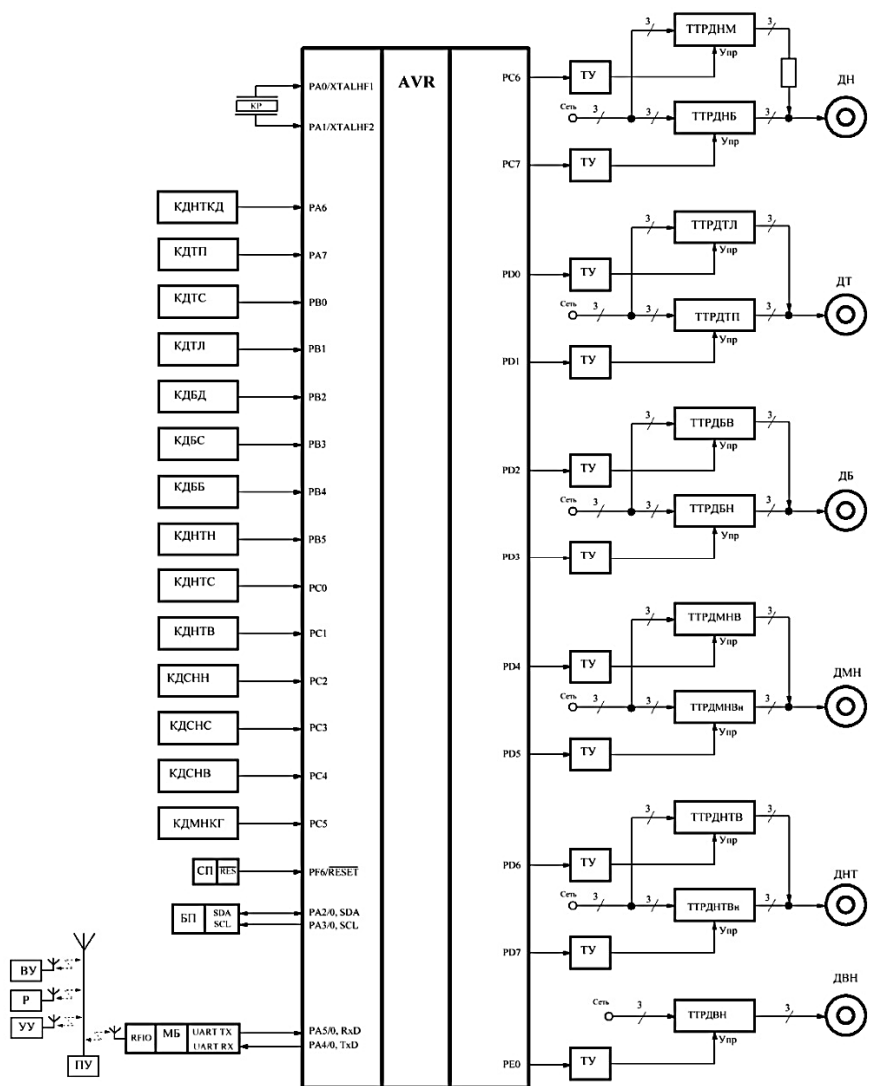


Рисунок 1 – Функциональная схема

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технологическое оборудование для АЗС и нефтебаз : учебное пособие для студентов вузов (бакалавров), обучающихся по направлению "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов" : в 2-х ч. Ч. 1. Оборудование для слива-налива нефтепродуктов в железнодорожные, автомобильные цистерны и морские суда / Ю. Н. Безбородов [и др.]; Сиб. федер. ун-т - Красноярск : СФУ. - 2015. - 167 с.
2. Шарифуллин, Л.В. Сооружения и оборудование для хранения, транспортировки и отпуска нефтепродуктов: учебное пособие / А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова, С.Г. Смердова; Казан. гос. технолог. ун-т.- Казань: КГТУ, 2011 - 136 с.
3. Устройства для слива и налива железнодорожных цистерн // ПАО «Транснефть» : сайт. URL: <https://discoverrussia.interfax.ru/wiki/30/> (дата обращения: 03.10.2023). – Режим доступа: свободный.
4. Борщев, В. Я. Оборудование нефтебаз : учебное пособие / В. Я. Борщев, М. А. Промтов, Н. Ц. Гатапова. – Тамбов : ТГТУ, 2020. – 141 с. – ISBN 978-5-8265-2273-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/320252> (дата обращения: 13.08.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Коршак А. А. Основы транспорта, хранения и переработки нефти и газа: учебное пособие / А. А. Коршак. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 365 с.

УДК 629.4.027.5

Огнев Артем Алексеевич, студент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Ognev Artem Alekseevich, student, Far Eastern State Transport University

Шибек Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shibeko Roman Vladimirovich, Senior Lecturer, Department of Industrial Electronics, Kom-somolsk-na-Amure State University

## **УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ПАССАЖИРСКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ**

### **WHEELS DIAGNOSIS DEVICE PASSENGER RAILWAY CARS**

Аннотация. В статье представляется проект устройства диагностики колесных пар пассажирских железнодорожных вагонов; обосновывается необходимость такого устройства исходя из важности ж/д транспорта для страны, интенсивности эксплуатации вагонов и ограниченного времени на диагностику колесных пар; указываются основные дефекты колес; приводится порядок работы с устройством; приводится функциональная схема устройства и поясняется принцип ее работы.

Abstract. The article presents a project for a diagnostic device for wheel pairs of passenger railway cars; the need for such a device is justified based on the importance of railway transport for the country, the intensity of operation of cars and the limited time for diagnosing wheel sets; the main defects of the wheels are indicated; the procedure for working with the device is given; a functional diagram of the device is given and the principle of its operation is explained.

Ключевые слова: вагон, колесная пара, дефект, лазер, диагностика.

Keywords: wagon, wheelset, defect, laser, diagnostics.

#### **Введение**

Вклад железнодорожных перевозок в общий пассажиропоток всех видов транспорта составляет более 10 %. Естественно, безопасность путешествий на поезде должна быть на высшем уровне. Колесо один из самых нагруженных элементов в ж/д вагоне при поездке. К тому же интенсивность эксплуатации вагонов велика, а время на техническое обслуживание ограничено. Одной из самых критичных составляющих в ж/д вагоне являются колесные пары. Прокат, ползуны, трещины, подрезы, выщербины и раковины на поверхности колес – основные неисправности ж/д колес. Есть и другие неисправности не менее проблемные. Таким образом, текущая диагностика наиболее вероятных неисправностей колесных пар актуальна. Автоматизация диагностики должна обеспечить удобство, а главное скорость ее проведения что актуально при срочной проверке колеса на промежуточной станции во время стоянки поезда. Ниже описывается устройство экспресс-диагностики позволяющее проверить основные параметры колеса в нескольких точках по сечению поверхности катания и в нескольких сечения по ободу. В устройстве используются лазерные технологии. Пользователь управляет процессом диагностики и получает результаты ее через свой смартфон, что очень удобно и функционально.

#### **Основная часть**

Лазерный профилометр предназначен для снятия полного профиля поверхности катания пассажирских ж/д вагонов. Замеры производятся непосредственно на подвижном составе, без выкатки колесных пар.

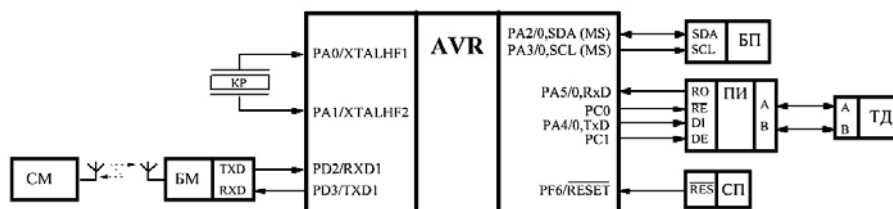
Профилометр может применяться с любыми ж/д тележками, у которых есть доступ к колесу, например, ТВЗ-ЦНИИ-М. Устройство представляет собой угловую конструкцию из легкого и прочного материала. На одной стороне имеются вакуумные присоски, которые приводятся в рабочее состояние ручным электрическим насосом с питанием от аккумулятора. С другой стороны находится лазерный блок со схемой управления. Присоски крепятся на боковую сторону вагона таким образом чтобы лазерный блок был сверху колеса.



Рисунок 1 – Тележка железнодорожного вагона ТВЗ-ЦНИИ-М

Порядок измерений следующий. Пользователь укрепляет устройство на вагоне, включает его и налаживает Bluetooth-связь со смартфоном. Нажимает кнопку «лазер», при этом устройство включает лазер, и пользователь видит на колесе световую полосу. Если положение полосы его устраивает, то пользователь активизирует «начальная позиция» при которой устройство сканирует сечение в пятидесяти точках профиля, результаты запоминаются что позволяет далее выявить качания вагона при езде если это отражается на всех точках сечения. Далее по рации пользователь дает команду машиниста тепловоза и вагон (поезд) начинает ехать со скоростью не более 3 км/ч при этом пользователь активизирует «цикл измерений».

Устройство производит измерения в сечении профиля через 0,01 с что позволяет измерить не менее 360 сечений (приблизительно через 1° или ориентировочно через 8 мм по ободу колеса при колесе при стандартном диаметре по кругу катания 950 мм). После одного оборота колеса (начальную точку можно пометить мелом на ободу) пользователь нажимает «конец цикла измерений» и по рации сообщает машинисту о торможении. Далее нажимается «принять данные» и все результаты измерений пересылаются на смартфон. Устройство выключается и снимается с вагона. Имеется возможность пользователем выбрать режим, когда на сечение профиля поверхности катания измеряется 25 точек, но увеличивается количество измеряемых сечений по боду колеса до 500. На пути колеса при измерении не должны попадаться стыки рельс.



СМ – смартфон; БМ – блютуз-модуль; КР – кварцевый резонатор;  
 AVR – микроконтроллер; БП – блок памяти; ПИ – преобразователь интерфейсов;  
 ТД – треугольный датчик; СП – супервизор питания

Рисунок 2 – Функциональная схема устройства диагностики колесных пар пассажирских железнодорожных вагонов

### Заключение

Представленное устройство помогает проверять ж/д колеса на пассажирском вагоне на дефекты поверхности катания особенно на недопустимые (например, ползун больше 1 мм [1]). Это очень важно поскольку вибрация вагона вообще и колесной пары в частности из-за этих неисправностей ведет к разрушению подшипников в буксах за короткое время с последующей ж/д происшествием в лучшем случае. Небольшое время цикла измерения позволяет проводить экспресс-диагностику колеса. Устройство быстро крепится на вагоне. Управление производится со смартфона что добавляет удобство пользователю. Использование лазерных датчиков и математическая обработка результатов измерения позволяет достичь точности ориентировочно не хуже 0.5 мм на измерение. В устройстве используются современная элементная база.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Об утверждении правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : официальное издание : утверждены и введен приказом Министерством транспорта Российской Федерации 23 июня 2022 г. N 250. – Москва : Федеральное агентство железнодорожного транспорта. Электрон. версия печ. изд. URL: <https://www.tdesant.ru/info/item/316> (дата обращения: 25.10.2023). – Режим доступа: свободный.
2. Мойкин, Д. А. Производство и ремонт подвижного состава: учебное пособие / Д. А. Мойкин. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2018 – Часть 1 : Колесные пары – 2018. – 54 с. – ISBN 978-5-7641-1256-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/153582> (дата обращения: 17.11.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Самаркина, И. К. Изготовление и ремонт колесных пар, буксовых узлов : учебное пособие / И. К. Самаркина, Д. А. Мойкин, В. И. Федорова. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2021. – 76 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/266108> (дата обращения: 17.11.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Пегов, Д. В. Эксплуатация и ремонт колесных пар электроподвижного состава / Д. В. Пегов, А. А. Богдан, В. А. Васильев. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – 50 с. – ISBN 978-5-7641-0443-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/44051> (дата обращения: 18.10.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Колесная пара: устройство, вес, типы и виды неисправностей // Общество с ограниченной ответственностью «ВСПЗ3» : сайт. URL: <https://railstorg.ru/kolesnaya-para-ustrojstvo-ves-tipy-i-vidy-neispravnostei/#:~:text=%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%BC%D0%B8%20%D0%BD%D0%B5%D0%B8%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D%85> (дата обращения: 14.10.2023). – Режим доступа: свободный.

УДК 621.389

Офимкина Виктория Максимовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ofimkina Victoria Maksimovna, 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

## МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ДАЛЬНОМЕР ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМ ЗРЕНИЕМ

### MODERNIZED RANGEFINDER FOR VISUALLY IMPAIRED PEOPLE

Аннотация. Приведены описания функциональной схемы и программы функционирования модернизированного дальномера для людей с ограниченным зрением. Измерение расстояния выполняет миниатюрный лидар TF-Luna. Для оповещения пользователя применен звуковой сигнал в виде гудков с изменяемой частотой их следования, предупреждение встречных прохожих выполняет световой сигнал с изменяемым цветом.

Abstract. The descriptions of the functional scheme and the program of operation of the modernized rangefinder for visually impaired people are given. Distance measurement is performed by a miniature lidar TF-Luna. To notify the user, an audible signal in the form of beeps with variable frequency is used, a light signal with variable color is used to warn oncoming passers-by.

Ключевые слова: лидар, контроллер, расстояние, звуковой сигнал, световое предупреждение.

Key words: lidar, controller, distance, sound signal, light warning.

## Введение

Для дистанционного измерения расстояний в настоящее время широко используются устройства на основе полупроводниковых лазеров – лидары [1, 2]. Ранее в КнАГУ был разработан дальномер для людей с ограниченным зрением на базе лидара LIDAR-Lite V3HP компании Garmin [3]. У данного устройства выявили несколько недостатков. Во-первых, сам лидар достаточно громоздкий для закрепления на очковой оправе и потребляет относительно большой ток. Во-вторых, часть функциональных узлов была реализована схемотехнически, что усложнило схему и повысило энергопотребление, хотя их можно было реализовать программно в самом микроконтроллере. В-третьих, были использованы аккумуляторы большой емкости, в результате чего пришлось разместить их в отдельном отсеке, а не вместе с самим устройством. Поэтому появилась необходимость в модернизации дальномера.

## Основная часть

Учет перечисленных недостатков позволил разработать модернизированный дальномер, обладающий лучшими параметрами. Функциональная схема нового устройства приведена на рисунке 1. В нем применен миниатюрный лазерный дальномер TF-Luna [4], обладающий необходимыми параметрами для решения поставленной задачи [5].

Лидар TF-Luna пересылает информацию о расстоянии до препятствия в сантиметрах в миниатюрный контроллер Arduino Nano по интерфейсу I2C. Контроллер анализирует это расстояние и в зависимости от его значения генерирует сигналы гудков с частотой порядка 200 Гц на выходе D8, изменяя задержку между гудками. Гудки раздаются редко при расстоянии больше 5 метров и учащаются при уменьшении этого расстояния.

Транзисторный каскад усиливает мощность сигнала, а переменный резистор регулирует громкость звука в пьезоизлучателе. Сдвоенный зелено-красный светодиод используется для предупреждения встречных прохожих об опасности. Благодаря отдельной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) логических уровней на выходах PWM9 и PWM10, при большом расстоянии светодиод встречным светит зеленым светом, а при сближении цвет излучения постепенно изменяется на желтый, оранжевый и красный.

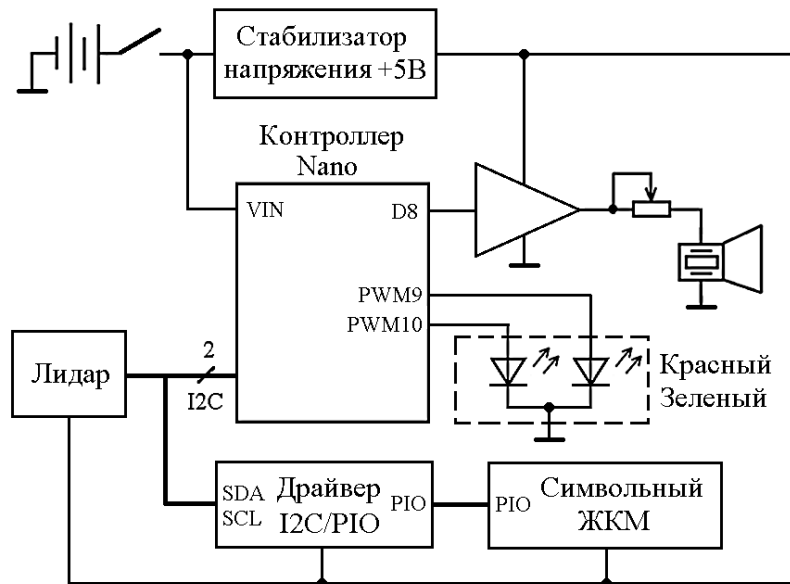


Рисунок 1 – Функциональная схема дальномера

В корпусе устройства предусмотрен разъем для подключения по интерфейсу I2C внешнего символьного жидкокристаллического модуля (ЖКМ) на базе контроллера HD44780. Поскольку ЖКМ имеет параллельный интерфейс, то для экономии выводов использован преобразователь интерфейса I2C в параллельный интерфейс на базе драйвера PCF8574AT.

Питание устройства выполняется от аккумуляторной батареи на 7,4 В. Для получения напряжения +5 В применен интегральный стабилизатор.



Текст программы для контроллера Arduino Nano содержит следующие операторы:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Подключение библиотеки ЖКМ
byte deviceAddress = 0x10; // I2C адрес лидача TF-Luna 0x10
unsigned long timing = 0; // Сохраняемое время в миллисекундах
unsigned int dist; // Яркость светодиода
unsigned int old; // Расстояние в сантиметрах
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // I2C адрес и параметры экрана ЖКМ
void setup() { // Однократно выполняемая процедура
  Wire.begin(); // Запуск интерфейса I2C
  pinMode(10, OUTPUT); // Настройка используемых выводов на выход
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  lcd.init(); // Инициализация ЖКМ
  lcd.backlight(); // Подключение подсветки
  lcd.setCursor(0,0); // Установка курсора в начало первой строки
  lcd.print("Distance"); // Вывод текста "Distance" в первой строке
}
void loop() { // Процедура выполняемая в цикле
  Wire.beginTransmission(deviceAddress); // Старт передачи данных по I2C
  Wire.write(0x00); // Отправить команду
  Wire.endTransmission(); // Передача данных I2C завершена
  Wire.requestFrom((uint8_t)deviceAddress, (uint8_t)7); // Считывание 7 байт
  if (Wire.available() == 7) { // Доступно 7 байт данных
    byte data[7];
    for (int i = 0; i < 7; i++) {
      data[i] = Wire.read(); // Считывание данных в массив
    }
    unsigned int distance = (data[1] << 8) | data[0]; // Значение расстояния
    unsigned int signalStrength = (data[3] << 8) | data[2]; // Уровень сигнала
    old = distance; // Запись расстояния в переменную old
    dist = distance; // Запись расстояние в переменную dist
    if (distance > 255) {dist = 255;} // Если расстояние больше 255 см, dist = 255
    if (distance == 0) {
      distance = 700;
    }
    analogWrite(10, dist); // Вывод на зеленый светодиод
    dist = 255-dist; // Дополнение до 255
    analogWrite(9, dist); // Вывод на красный светодиод
    distance = (distance << 3); // Деление на 8
    if (millis() - timing > distance){ //Разность текущего и сохраняемого времени
      timing = millis(); // Обновляем сохраняемое время
      tone(8, 200, 100); // Выдача на 8-ой вывод частоты 200 Гц 100 мс
      lcd.setCursor(0,1); // Установка курсора в начало второй строки
      lcd.print(old); // Вывод расстояния на ЖКМ
      lcd.print(" "); // Стирание старой цифры
    }
  }
  delay(10); // Задержка 10 мс
}
```

В программе использована функция *millis()*, которая позволяет «на лету» считывать количество миллисекунд, прошедших с начала выполнения программы на плате Arduino. От текущего времени вычитается предыдущее сохраненное время и разница сравнивается с промасштабированным значением расстояния до препятствия. Чем меньше это расстояние, тем чаще будет вызываться функция *tone (8, 200, 100)*, которая выдает гудок.

### **Заключение**

Использование функции *millis()* для чтения текущего времени «на лету» позволило исключить запаздывание при подаче звукового сигнала в случае резкого уменьшения расстояния по сравнению с использованием функции *delay()* для формирования задержки между гудками.

Дальномер имеет малые размеры и помещается вместе с аккумуляторами в небольшой футляр, который можно носить как бейджик.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Соломатин, В.А. Лидары : учебное пособие / В.А. Соломатин. – М.: Машиностроение, 2021. – 120 с. – ISBN 978-5-907104-81-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/193012> (дата обращения: 27.02.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Агишев, Р.Р. Лазерное зондирование окружающей среды. Методы и средства / Р.Р. Агишев. – М.: Физматлит, 2019. – 264 с.

3. Ганиев, А.Д. Разработка дальномера со звуковой сигнализацией для людей с ограниченным зрением / А.Д. Ганиев, С.М. Копытов. – Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных, Комсомольск-на-Амуре, 11-15 апреля 2022 г. : в 4 ч. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2022. – Ч. 1. – С. 278-279.

4. TF-Luna 8m Low Cost Distance Sensor Modul. – URL: [https://en.benewake.com/TFLuna/index\\_proid\\_328.html](https://en.benewake.com/TFLuna/index_proid_328.html) (дата обращения: 27.02.2024). Режим доступа: свободный.

5. Офимкина, В.М. Выбор датчика расстояния для использования в дальномере для людей с ограниченным зрением / В.М. Офимкина, С.М. Копытов. – Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : материалы Всеросс. науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Комсомольск-на-Амуре, 16-17 ноября 2023 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2023. – С. 251-254.

УДК 004.891

Прохоров Кирилл Константинович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Prokhorov Kirill Konstantinovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

### **СИСТЕМА ОТБОРА СОТРУДНИКА И ВЫЯВЛЕНИЯ УХУДШЕНИЯ В ЕГО СОСТОЯНИИ**

### **SYSTEM FOR SELECTING EMPLOYEES AND DETECTING DEVELOPMENT IN HIS CONDITION**

Аннотация. В работе рассматривается структура и работы системы, направленной на управление персоналом на основе его компетенций, система содержит в себе шесть блоков. Из которых четыре вспомогательных необходимых для функционирования основных блоков, выполняющих главную функцию в системе и двух главных блоков, осуществляющих основные функции системы, а именно мониторинг состояния сотрудника, путем отслеживания скорости и интенсивности нажатий на клавиатуру и подбора персонала на высокотехнологичный производственный процесс, путем сравнения требований по компетенциями к процессу с уровнем владения компетенциями сотрудником.

Abstract. The work examines the structure and operation of a system aimed at personnel management based on its competencies; the system contains six blocks. Of which, four are auxiliary main blocks necessary for the operation, performing the main function in the system and two main blocks, performing the main functions of the system, namely monitoring the employee's condition, by tracking the speed and intensity of keystrokes and selecting personnel for a high-tech production process, by comparing requirements by competencies to the process with the level of competency proficiency of the employee.

Ключевые слова: система, компетенции, состояние сотрудника, производственный процесс.  
Key words: system, competencies, employee's condition, manufacturing process.

## Введение

Для достижения высокого качества продукции используются различные методы и подходы, связанные как с процессами управления персоналом, производством и самими технологиями, используемыми для производства. Но для достижения наиболее высокого результата необходимо чтобы все эти процессы находились на одном уровне, ведь если есть высокотехнологичное производство, то и процессы управления таким производством должны быть на высоком уровне. Также основным компонентом для достижения наибольшей эффективности является высококвалифицированный персонал. На предприятиях с высокотехнологическим производством зачастую возникает проблема, когда сотрудник, отвечающий за конкретный производственный процесс, не может исполнять свои обязанности по каким-либо причинам и необходима срочная замена, но подобрать сотрудника достаточно сложно, так как производственный процесс достаточно сложный и требует определенных навыков и знаний. Вторая проблема частично связана с первой, на текущий момент достаточно сложно отслеживать состояние своих сотрудников и вовремя диагностировать ухудшения в их состоянии. Для решения таких проблем ставится цель разработать систему отбора сотрудника и выявления ухудшения в его состоянии [4-6]. Для достижения такой цели ставились следующие задачи:

1. Представить схему системы отбора сотрудника и выявления ухудшения в его состоянии
2. Описать все структурные компоненты разработанной схемы
3. Описать работу самой системы

## Основная часть

Структурная схема системы [1-3] отбора сотрудника и выявления ухудшения в его состоянии представлена на рисунке 1

Схема состоит из шести блоков:

1. Матрица компетенций – это таблица, в которой содержится информация о владении компетенцией всех сотрудников на предприятии
2. Матрица требований к производственному процессу – это таблица, в которой содержится информация о требованиях по владению компетенцией для каждого производственного процесса на предприятии

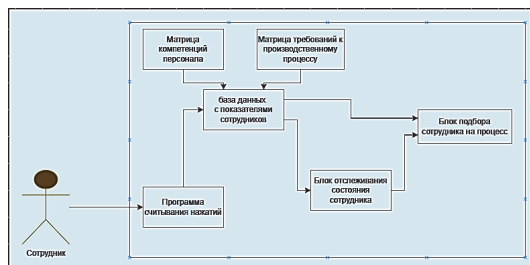


Рисунок 1 структурная схема системы отбора сотрудника и выявления ухудшения в его состоянии

3. База данных с показателями сотрудников содержит в себя информацию с обеих матриц, а также данные о показателях сотрудника, когда он находится в норме. База данных является основным элементом системы, так как информация, содержащаяся в ней, используется для работы основных блоков

4. Программа считывания нажатий – это программный код, который отслеживает скорость и интенсивность нажатия клавиш сотрудником. Скорость нажатия – это показатель, в котором измеряется скорость нажатия со-

трудника на клавиши. Интенсивность нажатия – это показатель средней скорости нажатия клавиш сотрудником за определенный период времени

5. Блок отслеживания состояния сотрудников – один из основных блоков, основная функция заключается в постоянном сравнение скорости и интенсивности нажатия сотрудника в текущий период времени с его стандартными показателями. Стандартные показатели — это значение скорости и интенсивности нажатия на клавиши сотрудником, который находится в нормальном состоянии.

6. Блок подбора сотрудника на процесс – ключевой блок, который отвечает за подбор сотрудника на процесс. Он сравнивает требования по компетенциям к производственному процессу с уровнем владения тех же компетенций потенциальным сотрудником. Если сотрудник соответствует требованиям, то он назначается на процесс, если нет, то подбирается уже новый сотрудник.

Основной функцией системы является, поиск сотрудника на процесс – данный алгоритм начинает работать с запроса на поиск определенного сотрудника. При анализе базы данных производится подбор подходящего сотрудника, далее в блоке отслеживания состояния производится сравнение текущих показателей скорости и интенсивности нажатия сотрудника, с его стандартными показателями. Если блок выявляет какие, то отклонения от нормы, то сотрудника отправляют на обследование. Далее в блоке подбора сотрудника на процесс производится сравнение компетенций сотрудника с требованиями на процесс, если сотрудник подходит, то его назначают на процесс, если нет, то подбирается новый сотрудник.

#### **Заключение**

В заключении можно сказать, что в работе представлена проблематика рассматриваемой области, была поставлена цель и для достижения поставленной цели были поставлены соответствующие задачи. Предложенная система позволяет значительно сократить временные затраты на поиск сотрудника, когда необходима срочная замена, а также вовремя отслеживать отклонения в состоянии сотрудника, для предоставления своевременной помощи. Данная система отлично подойдет для любых предприятий, на которых используется высокотехнологическое производство с высоким риском для состояния здоровья сотрудника.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Гончарова С.А., Зайченко И.В. Оптимизация трудовой деятельности персонала предприятия, находящегося на рабочем месте в положении сидя // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство. сборник научных статей по итогам второй международной научной конференции. 2019. С. 120-122.

2. Соколова В.С., Зайченко И.В. Бизнес-планирование инновационно-технологического проекта // 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. 250-252.

3. Зайченко И.В., Гордин С.А., Егорова Ю.Г. Математическое моделирование и управление процессом повышения эффективности человеко-машинных систем с помощью комплексного критерия оценки эргономичности // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. Т. 1. № 1 (41). С. 45-50.

4. Интеллектуальные системы в задачах управления техническими и организационно-технологическими процессами Горькавый М.А., Горькавый А.И. Комсомольск-на-Амуре, 2016.

5. <https://spb.hse.ru/> - Управление по компетенциям.

6. Прохоров К.К., Зайченко И.В. Разработка интеллектуальной системы управления персоналом предприятия на основе оценки психологического профиля сотрудника // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению Часть 1. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2022. - С. 393-395.

УДК 621.317

Реков Станислав Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Rekov Stanislav Sergeevich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Марущенко Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Marushchenko Sergey Grigorevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor "Industrial electronic", Komsomolsk-na-Amure State University

## **КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ПЛАТФОРМЫ NI MYRIO**

### **MONITORING THE PARAMETERS OF SECONDARY POWER SOURCES USING THE UNIVERSAL PROGRAMMABLE NI MYRIO PLATFORM**

Аннотация. Целью работы является разработка устройства для контроля параметров источников вторичного электропитания с помощью универсальной программируемой платформы NI MyRIO. Представлены обобщенная, структурная и функциональная схемы устройства, а также рассмотрены его преимущества и обоснована целесообразность реализации.

Annotation. The aim of the work is to develop a device for monitoring the parameters of secondary power sources using the universal programmable NI MyRIO platform. The generalized, structural and functional schemes of the device are presented, as well as its advantages are considered and the expediency of implementation is justified.

Ключевые слова: NI MyRIO, блок питания, эквивалент нагрузки, источник вторичного электропитания, измерительные датчики.

Keywords: NI myRIO, power supply, load equivalent, secondary power supply source, measuring sensors.

#### **Введение**

В любом радиотехническом устройстве одной из важных его составляющих частей является источник питания.

Строгий контроль над выходными характеристиками блоков питания позволит обезопасить как сами блоки питания (БП), так и радиоэлектронную аппаратуру, подключенную к ним [1].

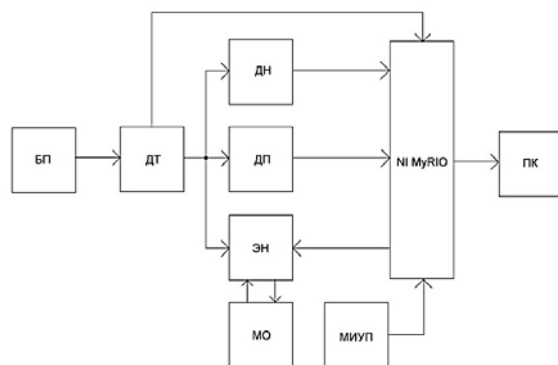
Исследования выходных характеристик БП традиционным способом, а именно с помощью осциллографа, амперметра, вольтметра и других измерительных приборов по отдельности друг от друга значительно увеличивают количество необходимых инструментов для работы, как и время, необходимое на исследование одного блока питания, а также уменьшают эффективность проделанной работы по причине монотонности, потраченного времени и невнимательности специалиста, занимающимся исследованием.

Из всего сказанного следует, что необходима реализация устройства, которое совместит в себе все необходимые инструменты в комплексе, необходимых для проверки блоков питания и будет точно оценивать выходные характеристики БП, тем самым заверяя пользователя о надежности конкретного блока питания, уменьшит затраченное время на работу с одним БП, тем самым повысит качество проверки со стороны специалиста и понизит требовательность к его квалификации.

Предлагаемое устройство позволит автоматизировать процесс контроля параметров источников вторичного электропитания, благодаря использованию в качестве базы в нем универсальной программируемой платформы NI MyRIO с гибким программным обеспечением, что значительно повысит качество этих работ [2].

#### **Основная часть**

Данное устройство предназначается для проверки блоков питания персонального компьютера, а также импульсных блоков питания для ноутбуков. Структурная схема устройства представлена на рисунке 1.



БП – блок питания; ДТ – датчик тока; ДН – датчик напряжения; ДП – датчик уровня пульсаций; ЭН – эквивалент нагрузки; МО – модуль охлаждения; МИУП – модуль измерения уровня помех; NI MyRIO – программируемая платформа;

ПК – персональный компьютер.

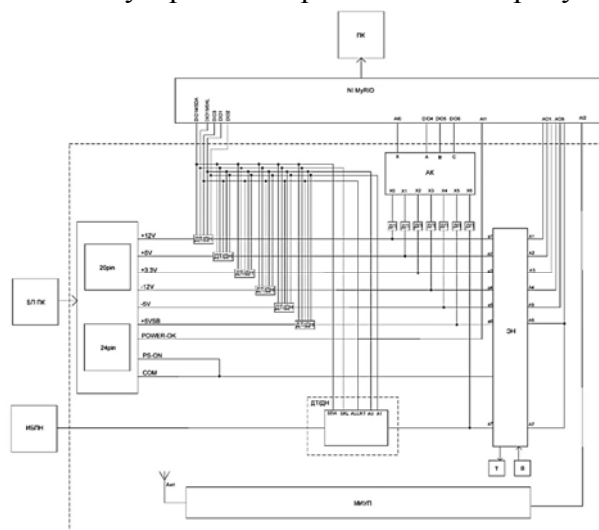
Рисунок 1 – Структурная схема устройства

Устройство для контроля параметров источников вторичного электропитания на базе аппаратной платформы NI MyRIO представляет собой корпус небольших размеров со встроенными измерительными датчиками тока, напряжения, пульсаций (ДТ, ДН, ДП) и эквивалентами нагрузки (ЭН), подключаемыми к NI MyRIO, который выступает как управляющая и программируемая часть устройства.

Подсоединение блока питания к устройству осуществляется через соответствующие разъемы. При включении ИВЭП выходные напряжения подаются на устройство контроля, которое осуществляет измерение основных параметров источника питания. Измеренные величины поступают на соответствующие входы платформы NI MyRIO, в которой осуществляется преобразование этих величин в цифровую форму, обработка результатов измерений и передача массива полученных данных в компьютер. Виртуальные приборы, построенные на языке LabVIEW, отображают состояние выходных характеристик блока питания, а конкретно: напряжение, ток, мощность, наличие пульсаций, а также наличие радиопомех в нем.

Таким образом можно быстро и эффективно сделать вывод о том, соответствуют ли заявленные характеристики БП его реальным значениям и определить наличие брака.

Функциональная схема устройства представлена на рисунке 2.



БП ПК – блок питания персонального компьютера; ИБПН – импульсный блок питания ноутбука; Т – термодатчик; В – вентилятор; ДТ/ДН – датчик тока/датчик напряжения; АК – аналоговый коммутатор.

Рисунок 2 - Функциональная схема устройства

При подключении блока питания персонального компьютера, или блока питания ноутбука к одному из разъёмов устройства, контролируемые напряжения через измерительные датчики поступают на эквивалент нагрузки, значение которой плавно изменяется с помощью NI MyRIO [3].

Датчики тока и напряжения представляют собой сложные интеллектуальные системы, преобразующие измеряемые величины в цифровую форму и через интерфейс I<sup>2</sup>C передают их на контроллер NI MyRIO. Датчики пульсаций имеют аналоговый выходной сигнал, поэтому их выходы подключены через аналоговый коммутатор (АК) ко входам аналого-цифрового преобразователя (АЦП) контроллера NI MyRIO для уменьшения количества используемых входов, встроенного АЦП [4].

Модуль эквивалента нагрузки построен на полевых транзисторах, работающих в активном режиме. Сопротивление канала задается напряжением на затворе транзистора, поступающем с выходов цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) NI MyRIO.

Модуль охлаждения необходим для поддержания стабильной температуры модуля эквивалента нагрузки. Он представляет собой термодатчик (Т) и вентилятор (В). Термодатчик, нагреваясь от ЭН, запускает вентилятор, который охлаждает модуль ЭН [5].

Модуль измерения уровня помех (МИУП) представляет собой приемник электромагнитного излучения и усилитель, сигнал с которого подается на аналоговый вход АЦП контроллера NI MyRIO. МИУП сообщает пользователю о наличии радиопомех, излучаемых блоком питания во время работы.

Все измеренные значения с датчиков будут представлены пользователю на виртуальном приборе на языке LabVIEW, где он сможет оценить правильность работы блока питания.

### **Заключение**

Таким образом показана возможность реализации устройства для автоматизированного контроля параметров источников вторичного электропитания. Преимущества разработки очевидны. Это может быть полный мониторинг за всеми доступными (напряжение, ток, мощность, наличие пульсаций) и недоступными (радиопомехи) характеристиками для каждого выходного контакта БП одновременно, так и проверка блока питания в режиме полной загрузки, то есть на максимальной мощности.

Имея полное представление о состоянии блоков питания для персональных компьютеров и ноутбуков можно повысить эффективность их проверки, тем самым с полной уверенностью использовать их для питания чувствительного и дорогостоящего оборудования.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Битюков, В.К. Источники вторичного электропитания : учебник / В.К. Битюков, Д.С. Симачков. - М. : Инфра-Инженерия, 2017. — 326 с.
2. Базовое руководство по проектам NI myRIO // ni.com [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://education.ni.com/teach/resources/92/ni-myrio-project-essentials-guide> (дата обращения 25.03.2024).
3. Электронные нагрузки серии АКПП-13хх и их использование для тестирования источников питания// prist.ru: [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://www.prist.ru/library/stati/elektronnye\\_nagruzki\\_serii\\_akip-13hh\\_i\\_ih\\_ispolzovanie\\_dlya\\_testirovaniya\\_istochnikov\\_pitaniya/](https://www.prist.ru/library/stati/elektronnye_nagruzki_serii_akip-13hh_i_ih_ispolzovanie_dlya_testirovaniya_istochnikov_pitaniya/) (дата обращения 25.03.2024).
4. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет : учебное пособие / Гейтенко Е.Н.. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2016 — 448 с.
5. Тестирование блоков питания // habr.com [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://habr.com/ru/companies/timeweb/articles/735406/> (дата обращения 25.03.2024).

УДК 621.38

Рыжиков Даниил Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Ryzhikov Daniil Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Любушкина Надежда Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленная электроника и инновационные технологии», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Liubushkina Nadezhda Nikolaevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of «Industrial Electronics and Innovative Technologies», Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В СРЕДЕ LABVIEW**

### **DEVELOPMENT OF A LABORATORY WORKSHOP ON THE STUDY OF ANALOG ELECTRONIC DEVICES IN THE LABVIEW ENVIRONMENT**

Аннотация. Статья посвящена разработке лабораторного практикума, ориентированного на исследование аналоговых электронных устройств с применением программной среды LabVIEW и учебной лабораторной станции виртуальных приборов NI ELVIS. Модульная образовательная лабораторно-техническая платформа, разработанная специально для учебных заведений, необходима для того, чтобы дать возможность студентам изучать различные устройства, позволяющие выполнять преобразование сигнала от аналогового датчика или схемы.

Abstract. The article is devoted to the development of a laboratory workshop focused on the study of analog electronic devices using the LabVIEW software environment and the NI ELVIS virtual instrument training laboratory station. A modular educational laboratory and technical platform designed specifically for educational institutions is necessary in order to enable students to study various devices that allow signal conversion from an analog sensor or circuit.

Ключевые слова: датчик, источник сигнала, эксперимент, исследование, аналоговое электронное устройство.

Key words: sensor, signal source, experiment, research, analog electronic device.

#### **Введение**

Лабораторный практикум – это инструмент, позволяющий соединить теорию и практику. Знания бесполезны, если отсутствует возможность ими воспользоваться. Практикум дает способ применить полученные знания, позволяет применить изученные методики в условиях приближенных к реальным, усвоить учебный материал; приобрести навыки обращения с элементной базой, всевозможными приборами, программным обеспечением, научиться самостоятельно делать выводы на основе полученных данных в ходе эксперимента или решения задачи, обрабатывать результаты [1].

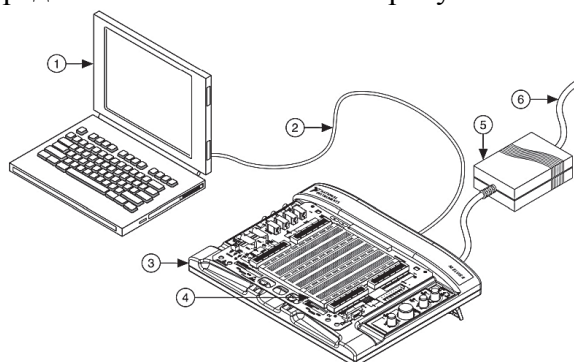
В настоящее время большая часть лабораторных практикумов представляет собой установку, позволяющую провести эксперимент по определенной теме. Для его реализации необходим набор всевозможных вспомогательных устройств: генераторов, осциллографов, мультиметров [2]. Сам эксперимент – это сбор одиночных данных на воздействие. Для получения характеристики схемы необходимо выполнить несколько повторяющихся измерений. Сама характеристика при таком подходе – аппроксимированная зависимость, построенная максимум в инженерном редакторе [3].

#### **Основная часть**

Использование комбинации программной среды LabVIEW и учебной лабораторной станции виртуальных приборов NI ELVIS предполагает осуществить отход от устарелого подхода командной работы. Связка программной среды и лабораторной станции позволяет выполнить оптимизацию самого эксперимента, дает возможность



реализовать индивидуальный подход обучения, когда отдельный студент или учащийся не зависит от других студентов. Лабораторная установка на базе NI ELVIS с использованием программной среды LabVIEW показана на рисунке 1.



1 – ноутбук, 2 – USB кабель, 3 – NI ELVIS, 4 макетная плата,  
5 – блок питания, 6 – сетевой шнур питания

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Лабораторный практикум предполагает выполнение следующего набора экспериментов: исследование однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе, подключенного по схеме с общим эмиттером; исследование однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе, подключенного по схеме с общим коллектором; исследование однокаскадных усилителей на полевом транзисторе; исследование многокаскадного усилителя с обратными связями; исследование дифференциального усилителя [4].

При выполнении данного перечня работ будут использованы виртуальные измерительные приборы, практически реализованные в программной среде LabVIEW с помощью инструментальных средств и компонентов систем сбора данных (DAQ) компании National Instruments [5]. Данная возможность полностью реализует автоматизацию процесса получения всех характеристик устройств с выводом на экран персонального компьютера.

#### **Заключение**

Для исследования устройств на основную плату NI ELVIS предполагается размещать макетную плату исследуемого устройства. Генератором сигнала, анализатором – осциллографом будет выступать сама платформа. На экране персонального компьютера будет располагаться макет лабораторной работы, отображающий все элементы. Выполняя практикум с использованием виртуальных приборов, студент не только получит полный перечень компетенций по использованию современных измерительных устройств, их настройке и эксплуатации, но и дополнит их компетенциями по автоматизации и технологии программирования.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Суранов, А. Я. LabVIEW 8.20. Справочник по функциям : справочник / А. Я. Суранов. - 2-е изд. - Москва : ДМК Пресс, 2023. - 537 с. - ISBN 978-5-89818-456-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2106225> (дата обращения: 10.04.2024). – Режим доступа: по подписке.

2. Батоврин, В. К. LabVIEW: практикум по электронике и микропроцессорной технике : учебное пособие для вузов / В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин. - 2-е изд. - Москва : ДМК Пресс, 2023. - 183 с. - ISBN 978-5-89818-368-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2103604> (дата обращения: 10.04.2024). – Режим доступа: по подписке.

3. Трэвис, Д. LabVIEW для всех : практическое руководство / Д. Трэвис, Д. Кринг ; пер. с англ. М. П. Михеева. — 5-е изд. / - Москва : ДМК Пресс, 2023. - 905 с. - ISBN 978-5-89818-491-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2106262> (дата обращения: 10.04.2024). – Режим доступа: по подписке.

4. Магда, Ю. С. LabVIEW: практический курс для инженеров и разработчиков : практическое руководство / Ю. С. Магда. - 2-е изд. - Москва : ДМК Пресс, 2023. - 209 с. - ISBN 978-5-89818-398-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2103637> (дата обращения: 10.04.2024). – Режим доступа: по подписке.

5. Баран, Е. Д. LabVIEW FPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы : практическое пособие / Е. Д. Баран. - Москва : ДМК Пресс, 2017. - 448 с. - ISBN 978-5-97060-455-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2012569> (дата обращения: 10.04.2024). – Режим доступа: по подписке.

УДК 621.31

Савин Артур Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Savin Artur Evgenevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, «Department of Industrial Electronics», Komsomolsk-na-Amure State University

## **УСТАНОВКА ДЛЯ СМЕШИВАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **INSTALLATION FOR MIXING MULTICOMPONENT MATERIALS**

Аннотация. Рассмотрены причины необходимости применения системы управления оборудованием для смешивания многокомпонентных материалов. Произведен анализ существующих технических решений, определены их недостатки. Представлена структурная схема разрабатываемой системы, которая составлена согласно требованиям безопасности.

Abstract. The reasons for the need to use an equipment control system for mixing multicomponent materials are considered. The analysis of existing technical solutions has been carried out, their disadvantages have been identified. A block diagram of the system being developed is presented, which is compiled according to safety requirements.

#### **Введение**

В наше время большое количество предприятий стараются уйти от обыденных материалов, которые должны содержаться в строгих, определенных условиях и которые имеют большую массу и габариты, к многокомпонентным материалам, которые не привередливы к окружающей среде и которые намного проще хранить в условиях производства. Многокомпонентные материалы представляют собой текучие жидкости, армированные наполнителями или использующиеся в качестве смеси для заливки форм различной формы, все это занимает меньше места и не уступает, а даже выигрывает по прочности [1]. Сфера применения таких материалов достаточно обширна, от производств, где они используются в качестве защиты аппаратов, необходимых для работы в тяжелых условиях эксплуатации, например, авиационного и космического назначения, до производства в сфере бытовой электроники [2]. Также изменяя составы и пропорцию веществ в готовых смесях, можно добиться огромного количества иных производных материалов с абсолютно различными значениями характеристик прочности, жесткости, теплопроводности, электроизоляции, химической, температурной стойкости.

#### **Основная часть**

Существующие системы имеют ряд проблем такие, как:

- Большая часть систем являются зарубежными (а также ребрендинг);

- Отсутствует интеграция в автоматизированные системы;
- Приспособлены для малых объемов производств (ручной дозатор);
- Введены системы, которые также требуют контроль (системы очистки);
- Большая часть систем оснащена динамическим смесителем;
- Не высокая точность смешивания;
- Высокая стоимость;

При быстром анализе различных производств в городе Комсомольск-на-Амуре выявлено 45 потенциальных потребителей. Из них 64% – это строительная промышленность, занимающаяся производством и эксплуатацией различных МКМ (многокомпонентных материалов). 18% – это основные градообразующие, авиа и судостроительные предприятия, а также нефтеперерабатывающие гр. Комсомольск-на-Амуре. Последние 18% – это магазины, работающие с лакокрасочными материалами, а также мастерские по покраски автомобилей.

Разрабатываемая система является полностью автоматизированной, в базовой комплектации поставляется с двумя резервуарами для компонентов (Объем может подбираться под необходимости производства), также имеется возможность расширения количества резервуаров с компонентами.

В данной системе высокая точность достигается за счет использования поршневого насоса, который управляется шаговым мотором с редуктором, что повышает точность от 1% до 0,1%.

У аналогов используются системы водяной и воздушной очистки каналов устройства, которые также нуждаются в своих пассивных системах очистки, что усложняет эксплуатацию. Разрабатываемая система предлагает решить данную проблему за счет переключения электромагнитных клапанов после поршневого насоса, чтобы появилась возможность у поршневого насоса работать в обе стороны и выкачивать жидкость из шлангов обратно в резервуары с компонентами.

Производительность нашей системы будет равно 2л/мин как у большинства аналогов, поскольку это является оптимальным значением для правильной и точной работы установки.

Смешивание в нашей системе будет производиться непосредственно в статическом смесителе за счет перемешивания потоков компонентов. Статический смеситель позволяет избавиться от механически вращающихся смесителей, которые могут создавать области с воздухом в готовой смеси[3].

Концепция разрабатываемого устройства с основными элементами системы представлен на рис. 1.

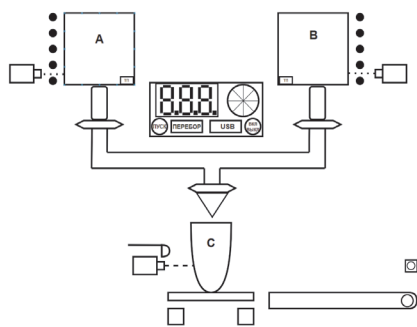


Рисунок 1 – Концепция разрабатываемой системы

Также статический смеситель мы будем печатать на 3D-принтере за счет этого он становится намного легче в эксплуатации.

С экономической точки зрения данная система является достаточно выгодным вложением для инвесторов, поскольку аналоги нашей системы лежат в ценовом диапазоне начиная от 300 000 рублей. Электроника и составляющие нашего устройства будут непосредственно собираться двумя людьми, главным электронщиком, который будет отвечать за электронику и ПО системы, и монтажником, который будет собирать корпус и т.п.

Себестоимость проектируемой системы будет равна 100 000 рублей. В эту цену входят все налоговые взносы за сотрудников, оплата материалов и покупка компонентов схем, а также аренда помещения и зарплата сотрудников.

Ниже представим функциональную схему разрабатываемой системы (рис. 2).

На функциональной схеме показаны основные электронные компоненты, которые реализуют контроль состояния системы, положение емкости, контроль уровней компонентов, поддержание необходимой температуры, точную дозировку компонентов и визуализацию необходимой информации на пульт управления. Также присутствует система сопряжения с внешними носителями для расширения возможностей системы.

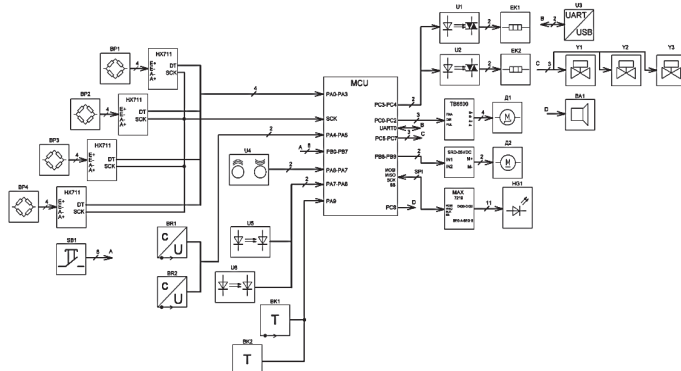


Рисунок 2 – Функциональная схема проектируемого устройства

### Заключение

Реализация представленного проекта позволит создать конкурентную установку для смешивания МКМ, востребованную большим количеством разно профильных предприятий дальнего востока, с характеристиками, превосходящими характеристики аналогов.

Также разработка системы управления оборудованием для смешивания МКМ является актуальной задачей поскольку ее производство принесет следующую пользу:

- Обеспечение рабочих мест;
- Замена зарубежных установок разрабатываемым оборудованием;
- Исследование и расчет статических смесителей;

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gorskii, V.F., Gorskii, P.V. Multicomponent Plugging Mixtures and Equipment for Their Preparation. *Chemical and Petroleum Engineering* 40, 389–391 (2004).
2. Manevich, V.E., Subbotin, K.Y. Multicomponent batching complexes. *Glass Ceram* 53, 6–7 (1996). <https://doi.org/10.1007/BF01171388>
3. Syvolotsky, M.O., Chagin, O.V., Blinichev, V.N. *et al.* Mathematical Description of the Mixing Process in a Static Mixer Using a Vortex Mixing Device. *Russ J Gen Chem* 91, 1228–1232 (2021). <https://doi.org/10.1134/S1070363221060384>.
4. Лейцин В.Н., Сидоренко Ю.Н. Оценка механических свойств многокомпонентных материалов случайной структуры. *Технологии. Физика. Lett.* 25, 501–503 (1999). <https://doi.org/10.1134/1.1262529>
5. Фарзалиев А.Ю., Филиппенко Н.Г., Лившица В.А., Грамаков Д.С. Автоматизированные исследования влияния влажности на физико-механические свойства многокомпонентных полимерных материалов используемых на транспорте [Электронный ресурс]. URL: [https://mnv.irkgups.ru/sites/default/files/articles\\_pdf\\_files/farzaliev\\_statya.pdf](https://mnv.irkgups.ru/sites/default/files/articles_pdf_files/farzaliev_statya.pdf) (дата обращения 14.01.24)
6. Ларченко А.Г. Автоматизированное устройство диагностирования полимерных изделий сложной конфигурации методом высокочастотного излучения // *Контроль. Диагностика.* 2016. № 2. С. 61-65.
7. Кулезнев В.Н., Ушакова О.Б. Структура и механические свойства полимеров. М.: МИТХТ, 2006. 86 с.

УДК 681.267

Савченко Семен Витальевич, студент, Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал) Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики  
Savchenko Semyon Vitalievich, student, Khabarovsk Institute of Info-Communications (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics

Шибек Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Shibeko Roman Vladimirovich, Senior Lecturer, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ФАСОВОЧНЫЕ ВЕСЫ**

### **FILLING SCALES**

Аннотация. В статье представляется проект электронных фасовочных электродинамических весов уравнивающего преобразования; обосновывается необходимость такого устройства исходя из широкой сферы применения; перечисляются параметры весов и рабочие режимы; частично выбирается элементная база системы; приводится функциональная схема устройства и поясняется ее блоки и принцип работы.

Abstract. The article presents a project for electronic packaging electrodynamic scales with balancing transformation; the need for such a device is substantiated based on its wide scope of application; the parameters of the scales and operating modes are listed; the element base of the system is partially selected; a functional diagram of the device is given and its blocks and operating principle are explained.

Ключевые слова: весы, фасовка, взвешивание, точность, датчик, микроконтроллер.  
Keywords: scales, packaging, weighing, accuracy, sensor, microcontroller.

#### **Введение**

Весоизмерение существует с давних времен и на сегодняшний день эта область метрологии использует разнообразные физические явления: тензо- и пьезопреобразователи, электростатика, оптика и т.д. На сегодняшний день весы являются сложными устройствами, включающимися в себя современную элементную базу: микроконтроллеры, приемо-передатчики, измерительные преобразователи и т.д.[1,2].

Основные типы торговых весов:

– Платформенные весы. Специализируются на статическом взвешивании грузов (без ограничений по форме, размеру или весу). Предмет располагается на специальной платформе, а вот вес выводится на небольшой экран.

– Фасовочные весы. Фасовочные весы не только взвешивают, но и помогают в фасовке товара. Кроме этого, эти весы могут использоваться как контрольные.

– Весы с печатью этикеток. Такой аппарат имеет высокую стойку с дисплеем, где отображается вес товара и итоговая стоимость. Такое конструкторское решение позволяет использовать весы за витринами.

#### **Основная часть**

Ниже представлены фасовочные электронные электродинамические весы уравнивающего преобразования [4] для использования в розничной торговле со следующими параметрами:

- максимальная нагрузка 6 кг;
- минимальная нагрузка 20 г;
- действительная цена деления 2 г.
- точность изменения не хуже 3%.

Весы состоят из корпуса с установленной платформой, передней панели с индикацией и клавиатурой.

Весы могут работать в следующих режимах:

- режим простого взвешивания;
- компараторный режим;
- режим суммирования;
- счетный режим (штучное взвешивание);
- тара.

Режимы подробно поясняются в инструкции по эксплуатации и являются общеупотребительными в подобных устройствах [3].

Клавиатура состоит из клавиш:

– ЕД – кнопка «ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ». Выбор килограммы/граммы, а также клавиша навигации.

– ►0◀ – клавиша «ФИКСАЦИЯ НУЛЯ».

– ►Т◀ – клавиша «ТАРА».

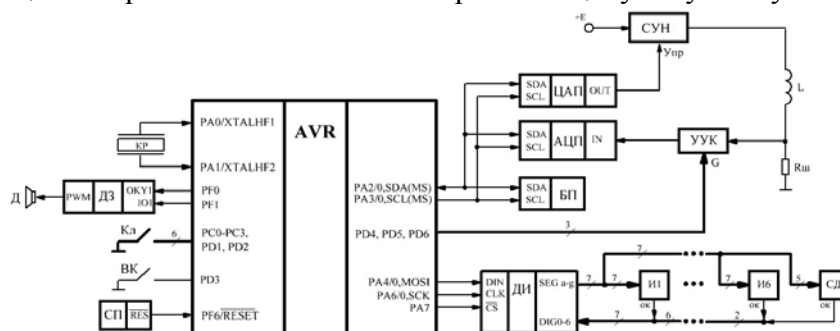
– К – клавиша «КОМПАРАТОРНЫЙ РЕЖИМ».

– СУМ – клавиша «РЕЖИМ СУММИРОВАНИЯ».

– СЧ – клавиша «СЧЕТНЫЙ РЕЖИМ».

Все режимы, а также единицы измерений индицируются при помощи точечных светодиодных индикаторов, находящихся под числовыми индикаторами на передней панели устройства. Имеется звуковая индикация.

Функциональная схема устройства представлена на рисунке 1. Центральным элементом схемы является микроконтроллер, который соединен со всеми компонентами устройства по радиальной схеме. Микроконтроллер производит управляющие и вычислительные функции. Измерительный тракт состоит из: двенадцатибитного цифро-аналогового преобразователя который формирует управляющее напряжение для стабилизатора тока управляемого напряжением; катушки электромагнита создающей магнитное поле; измерительного токового шунта с которого снимается напряжение эквивалентное протекающему току через катушку; усилителя управляемого кодом предназначенного для увеличения точности измерения при измерении малых весов; двенадцатибитного аналого-цифрового преобразователя оцифровывающего напряжение эквивалентное протекающему току в катушке.



КР – кварцевый резонатор; ДЗ – драйвер звука; Кл – клавиатура; ВК – весовой контакт; СП – супервизор питания; AVR – микроконтроллер; СУН – стабилизатор, управляемый напряжением; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; L – катушка электромагнита; Rш – токовый шунт; УУК – усилитель управляемый кодом; БП – блок памяти; ДИ – драйвер индикации;

И1-И6 – семисегментные индикаторы; СД – светодиоды.

Рисунок 1 – Функциональная схема устройства

Также в схеме устройства присутствуют: блок памяти для хранения результатов промежуточных измерений и переменных необходимых для работы управляющей программы; драйвер индикации обслуживающий семисегментные и точечные индикаторы; драйвер звука формирующий напряжение звуковой частоты для динамической головки; клавиатура для связи пользователя с устройством; весовой контакт размыкающийся

при равенстве веса и магнитной компенсирующей силы; супервизор питания для формирования сигнала начального сброса микроконтроллера. В весах присутствует воздушный успокоитель для предотвращения колебаний механической части весов.

Измерение веса происходит методом деления кода с цифро-аналогового преобразователя пополам. В начале измерения микроконтроллером выставляется максимальный код для ЦАП и соответственно максимальное управляющее напряжение для стабилизатора тока, управляемого напряжением и в итоге ток через катушку электромагнита протекает также максимальный ток. Если весовой контакт разомкнулся, это код уменьшается вдвое и снова анализируется состояние весового контакта. Если он остался разомкнутым, то код снова делится на два, а если замкнулся, то код берется на середине верхней половины шкалы и так далее. Для увеличения точности измерения малых весов, при которых заполнена меньше 1/3 шкалы АЦП коэффициент усиления усилителя, управляемого кодом будет увеличиваться до тех пор, пока не будет заполнены больше 3/4 этой шкалы. Измерение считается выполненным правильным, если разомкнулся весовой контакт, то есть магнитная сила уравновесила силу тяготения.

Функциональная схема ориентирована на использование современных компонентов: микроконтроллер AVR128DB28; супервизор питания MAX8114; микросхема памяти EEPROM M24512-W; аналого-цифровой преобразователь AD7992; цифро-аналоговый преобразователь AD5612; усилитель, управляемый кодом LTC6910-1; и др.

### **Заключение**

Электродинамический метод с уравновешивающего преобразования обладает хорошей точностью для фасовочных весов [5]. Реализация наиболее употребительных функций в устройстве позволяет применять весы не только в торговле, но и на производстве, например, при взвешивании и подсчете мелких деталей (гайки, шайбы и т.п.) и на предприятиях общественного питания [5]. Предполагается точность измерения не хуже 3%. Применение микросхем с высокой степенью интеграции позволяет достичь наименьших габаритных размеров устройства.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Слатери К. Высокоточные электронные весы на основе микросхем аналого-цифрового преобразования АЦП AD7799 и ADUC847 / М. Най, К. Слатери // Компоненты и технологии. – 2006. - №58. – С. 176 – 181
2. Архипов, А. В. Поверка и калибровка средств измерения массы : учебное пособие / А. В. Архипов, Н. И. Прохоров, П. Н. Смирнов ; под редакцией А. В. Архипова. – Москва : АСМС, [б. г.]. – Часть 4 : Весы неавтоматического действия: Весы для взвешивания почтовых отправлений – 2016. – 184 с. – ISBN 978-5-93088-170-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/92868> (дата обращения: 23.11.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Бабер, А. И. Электрические измерения : учебное пособие / А. И. Бабер, Е. Т. Харевская. – 2-е изд., стер. – Минск : РИПО, 2021. – 106 с. – ISBN 978-985-7253-69-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/333896> (дата обращения: 23.11.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Датчики : справочное пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полищук, Н. Д. Кошевой, Г. Г. Ишанин. – Москва : Техносфера, 2012. – 624 с. – ISBN 978-5-94836-316-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/73560> (дата обращения: 23.11.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Фасовочные весы (простого взвешивания) // Московский весовой завод «МИДЛ» : сайт. URL: <https://www.middle.ru/catalog/vesi-fasovochnie-prostogo-vzveshivaniya> (дата обращения: 23.03.2024). – Режим доступа: свободный.

УДК 628.971.6

Савченко Семен Витальевич, студент, Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал) Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики  
Savchenko Semyon Vitalievich, student, Khabarovsk Institute of Info-Communications (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics

Шибек Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Shibeko Roman Vladimirovich, Senior Lecturer, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **СИСТЕМА УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

### **STREET LIGHTING SYSTEM**

Аннотация. В статье представляется проект системы уличного освещения (передающая часть); описываются методы передачи сигналов управления светильниками в осветительных линиях; указываются положительные стороны применения астротаймера в линиях; поясняется назначение, состав и алгоритм работы уличной осветительной линии; приводится функциональная схема устройства и поясняется принцип ее работы.

Abstract. The article presents the design of a street lighting system (transmitting part); methods for transmitting control signals for luminaires in lighting lines are described; the positive aspects of using an astro timer in lines are indicated; explains the purpose, composition and operation algorithm of the street lighting line; a functional diagram of the device is given and the principle of its operation is explained.

Ключевые слова: освещение, улица, светильник, осветительная линия, астротаймер.  
Keywords: lighting, street, lamp, lighting line, astro timer.

#### **Введение**

В длинных осветительных линиях управление может осуществляться как по отдельным каналам управления, так и по силовым сетям. Целесообразность отказа от отдельных каналов управления и использование для передачи команд управления силовые сети очевидна и эта идея не нова (технология PLC (Power Line Communication – коммуникация, построенная на линиях электропередачи)). На сегодняшний день чаще всего используются два способа передачи данных по силовым сетям:

- с модуляцией основной гармоники питающего напряжения;
- с модуляции наложенного напряжения.

Первый вариант целесообразнее ввиду более простой аппаратной части устройств.

Чаще всего светильники оснащают фотодатчиками или работающие по таймеру. Использование фотодатчика имеет свои недостатки: фотодатчик надо выносить на улицу; за состоянием фотодатчик требует обслуживания. В зимнее время фотодатчик будет обмерзать и забиваться снегом, а в летнее время источником загрязнения служит пыль. В этих случаях свет будет гореть и днем; при паразитной засветке датчика свет не будет гореть, когда надо; отсутствие возможности настройки автоматического выключения, когда свет не нужен; отсутствие возможности включения света с опережением/запаздыванием относительно уровня освещения.

Светильник с таймером (часами реального времени) данными недостатками не обладает. Однако при этом надо учесть текущую дату чтобы учитывать время восхода и захода солнца.

#### **Основная часть**

Система предназначена для автоматизации освещения улицы длиной 3 км категории В (улица местного назначения) с наибольшей интенсивностью движения транспорта в обоих направлениях не более 500 единиц в час. Имеется два перекрестка. Управление освещением



ведётся по астротаймеру. Осветительные приборы расположены на столбах в шахматном порядке с расстоянием между ними 40 м. Общее количество осветительных приборов 75.

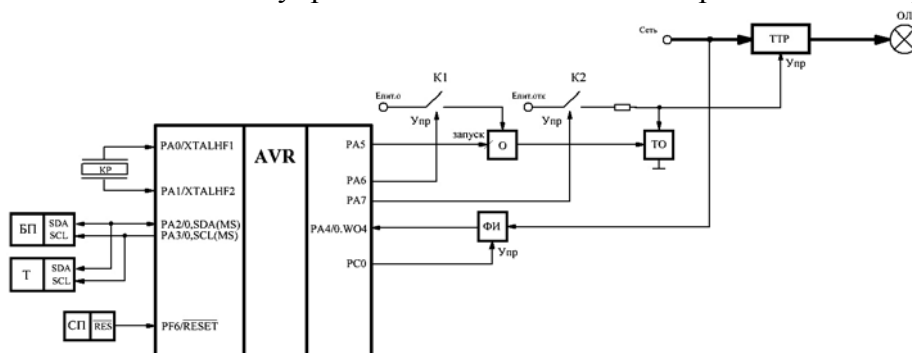
Осветительные приборы вдоль улицы исключая перекрестки состоят из трех светильников по 60 Вт каждый. На перекрестках осветительные приборы состоят их двух светильников по 90 Вт каждый. Например, подходят светильники серии ДКУ [1].

После захода солнца все осветительные приборы вдоль улицы включаются на 30% (один светильник 60 Вт), а на перекрестках – на 50% (один светильник на 90 Вт) (дежурный режим). Через час все осветительные приборы включаются на полную мощность. В час ночи выключается один светильник в каждом осветительном приборе. В три часа ночи в осветительных приборах вдоль улицы отключается второй светильник (дежурный режим). После восхода солнца выключаются все светильники.

Команды продаются контроллером освещения. Каждая команда начинается с маркера и заканчивается также маркером. Маркером является отсутствие полупериода сетевого напряжения. Поскольку команды подаются достаточно редко то появление высших гармоник в кривой сетевого напряжения, а также на кратковременный фликер несущественны. Каждая команда дублируется пять раз с интервалом в одну минуту. Команды представлены из количества периодов сети Этот способ вполне приемлем поскольку в системе не требуется предельно точное время изменения яркости осветительных приборов. Также в системе не требуется очень точное определение количества периодов сети между маркерами, потому что команды распределены достаточно далеко по количеству периодов сети:

- 50 периодов сети – выключить осветительные приборы;
- 100 периодов сети – выключить один светильник в осветительных приборах;
- 150 периодов сети – дежурный режим;
- 200 периодов сети – включить осветительные приборы на полную мощность.

Функциональная схема управляющей части системы представлена на рисунке 1.



AVR – микроконтроллер; КР – кварцевый резонатор; БП – блок памяти; Т – таймер реального времени; СП – супервизор питания; К1, К2 – контакты; О – одновибратор;

ТО – транзисторная оптопара; ФИ – формирователь импульсов;

ТТР – твердотельное реле; ОЛ – осветительная линия.

Рисунок 1 – Функциональная схема управляющей части системы

Рассмотрим элементы формирующие команды. Ключ К2 замыкается микроконтроллером на всю ночь и на твердотельное реле подается положительный управляющий сигнал Упр. На время «вырезания» полупериода сети транзисторная оптопара шунтирует управляющий вход ТТР обнуляя этот сигнал. В схеме используется ТТР с контролем перехода через ноль. Замыкание сигнала Упр происходит под действие сигнала с выхода одновибратора длительностью чуть меньше времени полупериода сети, при этом ТТР формирует маркер начала/окончания команды. Одновибратор подключается к питанию на время формирования команд.

Формирователь импульсов преобразует положительные полупериоды сети в импульсы которые подсчитываются счетчиком микроконтроллера, при этом количество всех полупериодов сети за время подсчета в два раза больше посчитанного количества

положительных полупериодов. Формирователь импульсов включается на время формирования команд. В качестве контактов в схеме целесообразно использовать герконовые реле или твердотельные реле малой мощности. Функциональная схема представлена с расчетом применения микроконтроллера AVR64DB28.

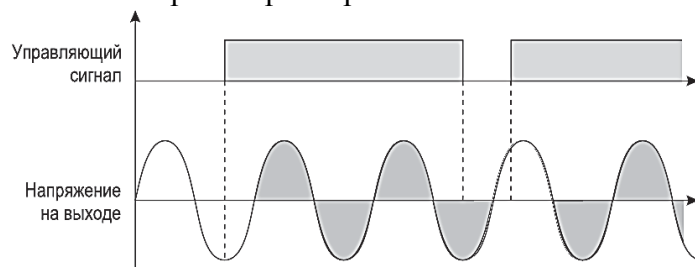


Рисунок 2 – Диаграмма срабатывания ТТР с контролем перехода через ноль

На рисунке 3 представлена схема формирователя импульсов. Благодаря диоду VD ток протекает по схеме только в положительный полупериод сети, что позволяет снизить рассеиваемую мощность токоограничивающего резистора R1. От протекающего тока открывается светодиод и вследствие этого – транзистор. С резистора R2 снимается сигнал для счетчика микроконтроллера.

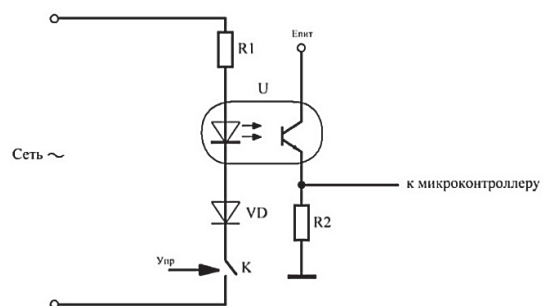


Рисунок 3 – Формирователь импульсов

Таким образом, представлен проект на функциональном уровне системы уличного освещения. Актуальность такой системы вне сомнений. Более традиционный в этих случаях датчик освещенности заменен на астротаймер. Команды передаются по самой осветительной линии. Команда состоит из определенного количества периодов сети между маркерами (отсутствие полупериода сети), распознается в каждом осветительном приборе и выполняется. Представлена функциональная схема управляющей (передающей) части всей системы и пояснен принцип ее работы. Приведена и пояснена схема формирователя импульсов приемной стороны.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зеленков, И.В. Система освещения производственной лаборатории / И.В. Зеленков И.В., Шибeko P. В // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы V Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 11-15 апреля 2022 г.: в 4 частях / редкол.: А. В. Космынин (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2022. – Ч. 1.- С. 286-289
2. Ульянов, А.В. Разработка энергоэффективных систем освещения / С.М. Копытов, Р.В. Шибeko // Современные наукоемкие технологии. – Москва : ООО ИД «Академия Естествознания», 2019. – № 3 (часть 2) – С. 199-206.
3. Световая среда и производственное освещение: учебное пособие / И.А. Кузьмин, А.П. Куприяновская, Н.В. Тукумова [и др.]. – Иваново : Ивановский государственный химико-технологический университет, 2018. - 89 с.
4. Система управления освещением // ООО «НПП РИЭЛТА» : сайт. URL: <https://rielta.ru/content/view/274.html> (дата обращения 16.11.2023) ). – Режим доступа: свободный.
5. Датчики автоматического управления освещением // Электрика своими руками «Электрoшкола.ру» : сайт URL: <https://elektroshkola.ru/osveshhenie/datchiki-avtomaticheskogo-upravleniya-osveshheniem/> (дата обращения 14.11.2023). – Режим доступа: свободный.

УДК 628.977

Савченко Семен Витальевич, студент, Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал) Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики  
Savchenko Semyon Vitalievich, student, Khabarovsk Institute of Info-Communications (branch) of the Siberian State University of Telecommunications and Informatics

Шибек Роман Владимирович, старший преподаватель кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Shibeko Roman Vladimirovich, Senior Lecturer, Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ ЗАВОДСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ**

### **LIGHTING SYSTEM OF THE PLANT LABORATORY**

Аннотация. В статье представляется проект системы освещения заводской лаборатории; обосновывается необходимость такой системы исходя из экономии электроэнергии; описывается структура системы освещения; перечисляются управляемые микроконтроллером блоки; частично выбирается элементная база системы; приводится функциональная схема устройства и поясняется принцип ее работы.

Abstract. The article presents a design for a lighting system for a factory laboratory; the need for such a system is justified based on energy savings; the structure of the lighting system is described; blocks controlled by the microcontroller are listed; the element base of the system is partially selected; a functional diagram of the device is given and the principle of its operation is explained.

Ключевые слова: освещение, лаборатория, драйвер, датчик, микроконтроллер.

Keywords: lighting, laboratory, driver, sensor, microcontroller.

#### **Введение**

Статистика показывает, что около 19% процентов всей произведенной электроэнергии тратится на освещение [2]. Переход на светодиодные лампы позволяет существенно снизить затраты, но потенциал снижения этим не исчерпывается. Предполагается экономию в целом можно увеличить минимум в полтора раза [3]. Это несет в себе также частичное решение экологических проблем в виде сокращения выбросов в атмосферу при производстве электроэнергии [4].

На каждом крупном предприятии имеются производственные лаборатории. Функции таких лабораторий различны в зависимости от того в какие технологические процессы они встроены. Роль освещения здесь важна особенно если необходимо выполнять работы особой точности [5]. В статье [1] описывается такая система освещения для производственной лаборатории размером 10x10 м на 12 рабочих мест. Количество светильников – 100, датчиков движения – 25. Система позволяет регулировать освещение как во всем помещении лаборатории, так и на отдельном рабочем месте. Пользователь может настраивать освещенность (семь уровней яркости светильников) и режимы освещения (четыре режима). При необходимости производится учет естественного освещения. Команды подаются звуковым способом. При нераспознанной команде происходит мигание угловых светильников до повторения команды. Также в статье [1] описываются компоненты системы и приводится функциональная схема на их основе.

В данной статье представлен другой вариант системы, реализующей указанные в [1] функции.

#### **Основная часть**

Функциональная схема устройства показана на рисунке 1 и состоит из блоков:

- AVR – микроконтроллер;
- КР – кварцевый резонатор;
- ИДД – инфракрасные датчики движения;
- СС – схемы сопряжений;

- ДС – драйверы светодиодов;
- СД – светодиоды;
- БП – блок памяти;
- ЗМ – звуковой модуль;
- Мф – микрофон;
- У – усилитель;
- Д – динамическая головка;
- ПИ – преобразователь интерфейса;
- ЦДО – цифровой датчик освещенности.

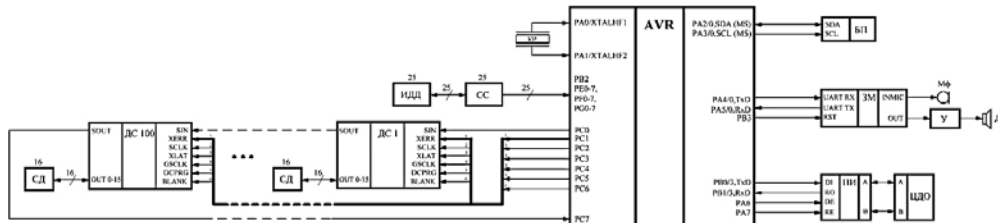


Рисунок 1 – Функциональная схема системы

Центральным звеном системы является микроконтроллер, который связан со всеми блоками и осуществляет управляющие и вычислительные функции. Кварцевый резонатор служит для стабилизации частоты колебаний внутреннего тактового генератора микроконтроллера. Инфракрасные датчики движения подключены напрямую к портам через схемы сопряжения служащие для преобразования сигналов с датчиков в цифровую форму. В системе присутствует 100 драйверов светодиодов. Каждый драйвер может обслуживать 16 светодиодов. Драйверы подключены к портам микроконтроллера каскадно. В системе предусмотрена flash-память для запоминания промежуточных вычислений и дополнительных команд. Обмен информацией между памятью и микроконтроллером происходит посредством интерфейса I<sup>2</sup>C. Другой интерфейс, UART используется для обслуживания звукового модуля, который распознает звуковые команды и генерирует звуковые сообщения для пользователя, а также для обслуживания датчика освещенности. Поскольку этот датчик формирует интерфейс RS-485 то в схеме используется преобразователь интерфейсов.

Функциональная схема синтезирована с учетом что будут использоваться следующие компоненты:

- микроконтроллер AVR128DB64;
- цифровой датчик освещенности LS-13;
- инфракрасный датчик движения HC-SR501;
- Звуковой модуль EasyVR 3 Plus Shield;
- усилитель TDA-7253;
- драйвер светодиодов TLC 5940;
- преобразователь интерфейсов MAX481;
- и другие.

### Заключение

Таким образом, представлен проект на функциональном уровне системы освещения заводской лаборатории. Система обладает расширенными функциями. Она не только управляет собственно освещением в помещении исходя из уровня естественного света, но и анализирует наличие людей в лаборатории, настраивает конфигурацию освещения, и его уровень. Звуковой интерфейс значительно повышает удобство для пользователей. Актуальность такой системы вне сомнений. Пояснены управляемые компоненты системы; частично выбрана элементная база; приводится функциональная схема системы и пояснен принцип ее работы.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зеленков, И.В. Система освещения производственной лаборатории / И.В. Зеленков И.В., Шибeko P. B // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы V Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 11-15 апреля 2022 г.: в 4 частях / редкол.: А. В. Космынин (отв. ред.) [и др.] – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2022. – Ч. 1.- С. 286-289
2. Световая среда и производственное освещение: учебное пособие / И.А. Кузьмин, А.П. Куприяновская, Н.В. Тукумова [и др.]. – Иваново : Ивановский государственный химико-технологический университет, 2018. - 89 с.
3. Система управления освещением // ООО «НПП РИЭЛТА» : сайт. URL: <https://rielta.ru/content/view/274.html> (дата обращения 16.11.2023) ). – Режим доступа: свободный.
4. Датчики автоматического управления освещением // Электрика своими руками «Электрошкола.ру» : сайт URL: <https://elektroshkola.ru/osveshhenie/datchiki-avtomaticheskogo-upravleniya-osveshheniem/> (дата обращения 14.02.2024). – Режим доступа: свободный.
5. Производственное освещение: проектирование и расчёт : учебное пособие / И. Г. Трунова, А. Б. Елькин, О. В. Маслеева [и др.]. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 240 с. – ISBN 978-5-9729-1494-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/347285> (дата обращения: 13.02.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

УДК 681.586.004

Тимохин Петр Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Timokhin Petr Alexandrovich, 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

## УСТРОЙСТВО ПОВОРОТА ВАЛА НА ТРЕБУЕМЫЙ УГОЛ

### DEVICE FOR TURNING THE SHAFT TO THE REQUIRED ANGLE

Аннотация. Целью работы является разработка устройства поворота вала на заданный угол. Устройство реализовано на базе биполярного шагового двигателя. Использован датчик слежения за положением вала на основе миниатюрного бесконтактного абсолютного энкодера AS5600. Устройством управляет контроллер myRIO, для которого в среде LabVIEW разработана управляющая программа.

Abstract. The purpose of the work is to develop a device for turning the shaft at a given angle. The device is realized on the basis of bipolar stepper motor. A shaft position tracking sensor based on a miniature contactless absolute encoder AS5600 is used. The device is controlled by myRIO controller, for which a control program is developed in LabVIEW environment.

Ключевые слова: абсолютный энкодер AS5600, шаговый двигатель, myRIO, LabVIEW.  
Key words: AS5600 absolute encoder, stepper motor, myRIO, LabVIEW.

### Введение

В технических устройствах иногда возникает необходимость повернуть вал на определенный угол или произвольным образом изменять угол поворота вала во времени. Для этих целей обычно используют аналоговые сервоприводы вращательного движения, содержащие электродвигатель, редуктор и датчик обратной связи [1]. Также

применяют шаговые двигатели, для точной установки вала которых в большинстве случаев достаточно выставить начальное положение вала с помощью концевого датчика (обычно оптопары) [2]. В последующем положение вала однозначно связано с количеством и последовательностью подачи управляющих импульсов.

Однако в приведенных решениях имеются определенные ограничения. Так при использовании относительно дешевых аналоговых сервоприводов остается проблема точности позиционирования и «дребезжания» (jitter) двигателя. При применении шаговых двигателей требуется время для поиска начального положения вала, а любой сбой в выдаче последовательности управляющих импульсов или проскальзывание вала приведет к потере координации.

В данной работе предлагается использовать шаговый двигатель с закрепленным на валу миниатюрным и дешевым абсолютным энкодером на датчиках Холла AS5600, который позволяет определить точное положение вала в любой момент времени [3]. Управление устройством возложено на контроллер myRIO, программа для которого разработана в среде LabVIEW. Такое решение предоставляет дополнительные возможности по удобному, гибкому и наглядному управлению положением вала.

### Основная часть

Структурная схема устройства приведена на рисунке 1.

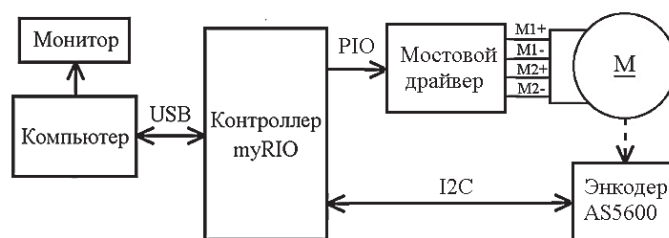


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

В устройстве использован биполярный шаговый двигатель типа Nema 17. Токи в его обмотках формирует транзисторный мостовой драйвер типа L298N [4]. Драйвером управляет контроллер myRIO с помощью логических сигналов на портах ввода-вывода PIO. Абсолютный энкодер AS5600 является 12-разрядным бесконтактным магнитным датчиком углового положения. Он находится в составе миниатюрного модуля [5]. Вместе с ним поставляется дисковый редкоземельный магнит диаметром порядка 4 мм и толщиной 2 мм с полюсами в виде полукругов. Этот магнит приклеен к открытому неиспользуемому торцу вала двигателя на его тыльной стороне. Сам энкодер установлен в пластиковом боксе толщиной примерно 5 мм, изготовленном на 3D принтере. Бокс с помощью стяжных винтов прикручен к торцу самого двигателя. Энкодер по интерфейсу I2C связан с контроллером [6].

Лицевая панель программы на языке LabVIEW для контроллера myRIO приведена на рисунке 2. Угол поворота вала в градусах задает ползунковый регулятор. С помощью числового элемента управления «Период шага (мс)» можно установить время выполнения одного шага, поскольку скорость вращения шагового двигателя ограничена. Индикаторы «Циклов» и «Усиление энкодера» отображают число циклов, прошедших с момента старта, и значение коэффициента усиления энкодера соответственно.

Индикаторы «Текущий угол (бит)», «Изменение текущего угла (бит)» и «Текущий угол (град)» показывают исходное выходное значение энкодера, его предыдущие значения и пересчитанное в градусы текущее значение, то есть реальное значение угла поворота вала. Необходимо заметить, что стрелка кругового индикатора точно воспроизводит угловое положение вала.

На рисунке 3 приведена блок-схема программы.

Особенностью программы является использование структуры Case Structure для формирования сигналов управления мостовым драйвером. Структура содержит восемь вкладок, в которых осуществляется подача четырехразрядной логической комбинации

через порты ввода-вывода контроллера myRIO на входы управления транзисторного мостового драйвера. Число комбинаций, равное восьми, определяется тем, что применен полушаговый режим двигателя, в котором используется перебор именно восьми комбинаций для подачи токов в обмотки. Порядок перебора вкладок определяет направление вращения двигателя. Этот порядок задается инкрементом или декрементом номера вкладки, а выбор инкремента или декремента определяется знаком разности между измеренным значением текущего угла и значением заданного угла. Для предотвращения «дергания» вала относительно заданного положения введена зона нечувствительности, составляющая полградуса. Поскольку энкодер является 12-разрядным датчиком, то полному обороту на 360 градусов соответствует 4096 числовых значений. Исходя из этого, выполняется преобразование результата измерения в значение в градусах.

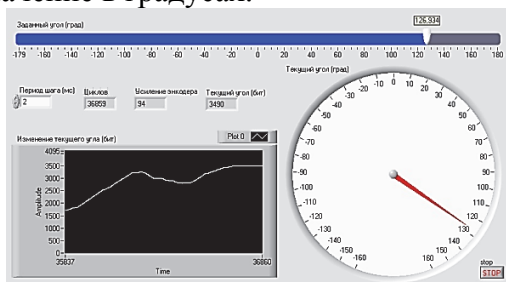


Рисунок 2 - Лицевая панель программы управления устройством

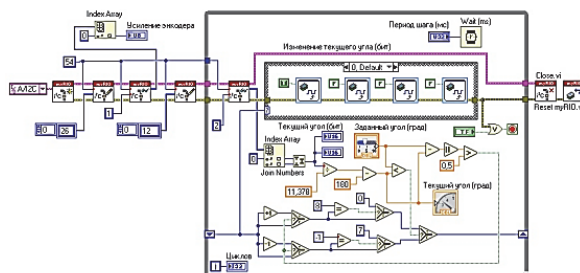


Рисунок 3 - Блок-схема программы управления устройством

Для упрощения программы на лицевой панели использован стандартный круговой индикатор Gauge со стрелкой, которая правильно показывает угол поворота вала. Небольшим недостатком использования этого индикатора является скрытая зона в 40 градусов между крайними положениями -160 и +160 градусов. В случае необходимости можно создать индикатор направления с полным рабочим полем 360 градусов.

### Заключение

Разработанное устройство является чисто цифровым устройством, которое построено на шаговом двигателе. Вместе с тем оно свободно от одного из основных недостатков шагового двигателя – неопределенного начального положения вала. Также за счет использования абсолютного энкодера решена проблема, связанная с заданием угла поворота вала (0...360 градусов), которому соответствует отличающееся число шагов (0...400).

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сервопривод - схема, характеристики, назначение. – URL: <https://drives.ru/stati/servodvigateli-princip-raboty/> (дата обращения: 25.02.2024). Режим доступа: свободный.
2. Шаговые двигатели. Принцип работы и управление. – URL: <https://drives.ru/stati/servodvigateli-princip-raboty/> (дата обращения: 25.02.2024). Режим доступа: свободный.
3. AS5600 - Product Document. – URL: [https://ams.com/documents/20143/36005/AS5600\\_DS000365\\_5-00.pdf](https://ams.com/documents/20143/36005/AS5600_DS000365_5-00.pdf) (дата обращения: 25.10.2023). Режим доступа: свободный.
4. Драйвер двигателя L298N. – URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drayver-dvigatelya-l298n/> (дата обращения: 25.02.2024). Режим доступа: свободный.
5. Подключение магнитного датчика угла наклона AS5600 к Arduino. – URL: <https://robotchip.ru/podklyuchenie-magnitnogo-datchika-ugla-naklona-as5600-k-arduino/> (дата обращения: 25.02.2024). Режим доступа: свободный.
6. Семенов, Б.Ю. Шина I2C в радиотехнических конструкциях / Б.Ю. Семенов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2010. – 224 с.

УДК 621.31

Шевченко Георгий Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shevchenko Georgy Evgenievich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Фролов Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная электроника», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Frolov Alexey Valerievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Electronics, Komsomolsk-na-Amure State University

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ**

### **AUTOMATED SYSTEM FOR ULTRASONIC NON-DESTRUCTIVE TESTING OF WELDED JOINTS OF PIPELINES**

Аннотация. Рассмотрены причины необходимости систем неразрушающего контроля сварных соединений трубопроводов. Проведен анализ соответствующих технических решений и выявлены их недостатки. Приведена структурная схема разрабатываемой системы, отвечающей требованиям безопасности, экономичности, эргономичности, а также включающей функцию удаленного контроля.

Abstract. The reasons for the need for non-destructive testing systems for welded joints of pipelines are considered. An analysis of the corresponding technical solutions was carried out and their shortcomings were identified. A block diagram of the system being developed that meets the requirements of safety, efficiency, ergonomics, and also includes a remote control function is presented.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, сварное соединение, трубопровод.

Key words: non-destructive testing, welded joint, pipeline.

#### **Введение**

Использование трубопровода широко распространено в разных областях промышленности. Можно выделить несколько отдельных направлений, которые, в свою очередь, будут также иметь разветвления на более мелкие подгруппы. Трубопроводы бывают технические и магистральные, и используются для разных нужд. В целом, они служат для перемещения определенных веществ из одного места в другое, и отличаются размерами, и требованиями к их исполнению. Зачастую требуется не просто герметичное соединение секций трубопроводов, а еще соответствующее особым требованиям к прочности, в случаях с высоким давлением, либо различными климатическими условиями эксплуатации. Соответственно необходимо не просто хорошо сварить секции между собой, но и проверить, точно ли все удовлетворяет правилам и техническим установкам. Для этого лучшим способом будет являться как раз-таки неразрушающий контроль, а именно ультразвуковой контроль, так как он обладает достаточной точностью, и обладает меньшими массогабаритными показателями, нежели дефектоскопия рентгеновскими лучами [1, 2].

#### **Основная часть**

Ультразвуковой контроль позволяет определить, есть ли в шве полости, где они находятся, их размер, всё это позволяет сложить картину об исследуемом участке, и понимать, качественно выполнен ли шов или нет.

Принцип УЗК. Сам способ контроля можно разделить ещё на несколько подгрупп, в зависимости от способов регистрации и оценки показателей: теневой, зеркально-теневой, эхо-импульсный, эхо-сквозной, дельта-метод. Выбор падает на эхо-импульсный метод. В качестве генератора и приемника выступает один преобразователь, излученный сигнал отражается от поверхности на границе металла с воздухом, и принимается приемником [3].



Существуют аналоги, например, миниатюрные ручные дефектоскопы (рисунок 2), габаритные автоматизированные системы УЗК (рисунок 3). Хорошим выбором будет беспроводной автоматизированный УЗК дефектоскоп, в котором отсутствует проблема с громоздкостью проводов, сложностью установки и настройки, исключается ошибка по человеческому фактору, из-за своих размеров его удобнее использовать нежели проводные большие модели, а также возможно организовать передачу информации несколькими способами, через USB на экран дефектоскопа, по wifi на тот же дефектоскоп либо на ПК, либо на переносное запоминающее устройство с USB.

Рассмотрим подробнее аналоги, и начнём с A1211 Mini. Данная система позволяет измерять координаты дефектов и уровни сигналов, имеет быстрый доступ к функциям управления, имеет индикатор уровня заряда батареи, обеспечивает передачу данных к ПК по USB.

К недостаткам системы можем отнести:

- неточность измерений, из-за присутствия человеческого фактора;
- необходимость в высококвалифицированном работнике;
- малый экран;
- малый участок измеряемой поверхности.

Автоматизированная система ультразвукового контроля ISONIC PA AUT (б)

Вторым аналогом выберем габаритную автоматизированную УЗК систему ISONIC PA AUT. Система имеет многоосный электромеханический энкодер, краскоотметчики дефектов, сирены и световые табло.

Из недостатков системы можно выделить следующее:

- значительные массогабаритные показатели;
- множество проводов снаружи устройства;
- отсутствие быстрого доступа к функциям управления;
- сложность настройки;
- высокая стоимость.

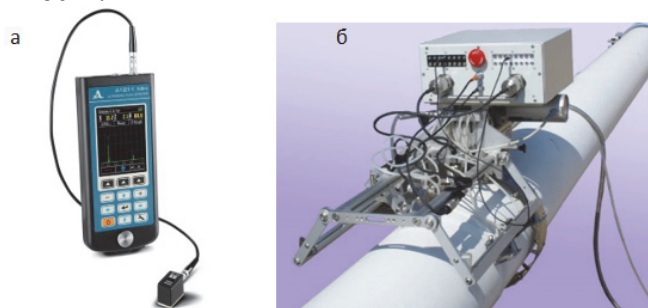


Рисунок 1 - Миниатюрный ультразвуковой дефектоскоп A1211 Mini (а)

### Структурная схема предлагаемого решения

В качестве системы неразрушающего ультразвукового контроля сварных соединений трубопроводов предлагается использовать устройство, схема которого представлена на рисунке 4.

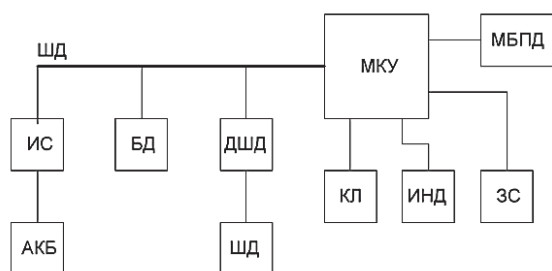


Рисунок 4 – Укрупненная конструкция устройства

Система состоит из некоторых отдельных блоков, которые управляются с помощью микроконтроллерного устройства (МКУ).

Аккумуляторная батарея (АКБ), от которого питается вся система, подключается к измерительной системе (ИС), которая необходима для контроля заряда батареи. Блок датчиков (БД) включает основные датчики, которые необходимы для дефектоскопирования, энкодеры, датчик уровня жидкости. Для работы необходим шаговый двигатель (ШД), подключенный с помощью драйвера шагового двигателя (ДШД), с помощью которого осуществляется автоматическое передвижение системы, для организации автономной работы.

Все эти блоки подключены к МКУ через шину данных (ШД), для организации обмена данными. Для взаимодействия человека с системой имеется блок клавиш (КЛ). Также для возможности сообщения оператору о различных состояниях системы имеются блоки индикации (ИНД) и звуковой сигнализации (ЗС). Для передачи данных на внешнее устройство, персональный компьютер, используется модуль беспроводной передачи данных (МБПД) [4].

### **Заключение**

Подводя итог, разработка беспроводной системы неразрушающего контроля сварных соединений трубопровода с функцией передачи данных через существующие каналы связи является актуальной задачей. Разрабатываемая система должна соответствовать следующим требованиям:

- иметь питание от АКБ;
- возможность удаленного контроля работы;
- низкие массогабаритные показатели;
- точность перемещения блока датчика контроля.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Мамлиев, И. Р. Определение возможности применения ультразвукового контроля сварных швов, выполненных с сопутствующей вибрационной обработкой / И. Р. Мамлиев, А. Ш. Янбарисов, А. М. Файрушин // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2019. – № 4. – С. 42-55. – DOI 10.17122/ogbus-2019-4-42-55. – EDN ZYSSZV.

2. Левин, В. М. Ультразвуковая микроскопия контактных соединений / В. М. Левин, Е. С. Мороков, Ю. С. Петронюк // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2017. – Т. 81, № 8. – С. 1053-1058. – DOI 10.7868/S0367676517080087. – EDN ZCICZR.

3. Peev, A.P., Kuz'min, S.V., Lysak, V.I. et al. Influence of the parameters of a high-frequency acoustic wave on the structure, properties, and plastic flow of metal in the zone of a joint of materials welded by ultrasound-assisted explosive welding. *Phys. Metals Metallogr.* 118, 485–493 (2017).

Dahlstrom, R. (2022). *Robotic NDE for Industrial Field Inspections*. In: Meyendorf, N., Ida, N., Singh, R., Vrana, J. (eds) *Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0*. Springer, Cham.

УДК 004.67

Щербаков Алексей Максимович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Shcherbakov Aleksey Maksimovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **МОДЕЛЬ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ВАГОНОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

## **DATA STORAGE MODEL IN AN AUTOMATED WAGON MAINTENANCE CONTROL SYSTEM AT A METALLURGICAL ENTERPRISE**

Аннотация. Описаны виды информации, поступающей в автоматизированную систему обслуживания вагонов металлургического предприятия как из внешней среды, так и

внутри программного обеспечения. Определены основные сущности, признаки и связи между ними. Предложена модель обмена данными, позволяющая осуществлять дальнейшее развитие программных компонентов.

Abstract. The types of information entering the automated maintenance system for wagons at a metallurgical enterprise are described, both from the external environment and inside the software. The main entities, attributes and relationships between them are determined. A data exchange model is proposed that allows for further development of software components.

Ключевые слова: интеллектуальная система, цифровой двойник, ER-модель базы данных, обслуживание вагонов, зачистка вагонов.

Key words: intelligent system, digital twin, ER-database model, wagon servicing, cleaning of wagons.

### **Введение**

Автоматизация производственных задач, где неизбежно участие человека, является важным направлением в рамках концепции индустрии 4.0 и реализуется путем внедрения электронно-вычислительных машин, алгоритмов, а также вспомогательных устройств в промышленные процессы [1]. Для обеспечения максимальной эффективности таких систем, используется интеллектуальное управление, реализованное программным обеспечением на внешнем управляющем устройстве [1,2].

Такой подход к организации работ в современных условиях является перспективным, так как с каждым годом дефицит кадров на промышленных предприятиях выходит на новый уровень и в условиях дорогой рабочей силы, уменьшение влияния человеческого фактора на производственные процессы является вынужденной мерой. С другой стороны, автоматизация дает возможность получить лучший результат при меньших усилиях, так как исключает риски, связанные с человеческим фактором, но при этом, на первый план выходит интеллектуальный потенциал, так как такие системы нужно обслуживать и постоянно совершенствовать.

Особенностью интеллектуальных систем, позволяющих автоматизировать производственные процессы, является обработка большого объема данных, позволяющих проводить обучение и анализ текущего состояния технологического процесса [3,4]. Таким образом, для реализации автоматизированной системы управления обслуживанием вагонов на металлургическом предприятии, необходимо реализовать обмен данными между компонентами программного обеспечения, а также осуществлять хранение и быстрый доступ отдельных программных элементов к полученной информации [5,6].

### **Основная часть**

Вагоны, после разгрузки поступают на весовую и имеют разную степень загрязненности. При помощи весов, камер и уровнемера происходит сбор информации для автоматизированной системы управления. Изображение с камеры, поступает в систему распознавания объектов и оцифровывается. Информация о номере вагона, весе содержимого и уровне мусора относительно дна вагона, поступает в базу данных автоматизированной системы управления.

База данных, в том числе, хранит информацию о количестве поступивших вагонов на участок зачистки за все время. Для каждой партии вагонов записано значение общего времени зачистки, выводимое по итогу обработки всей партии вагонов. С внешней среды в базу данных поступает ожидаемое количество вагонов на следующий день (данные берутся с программного обеспечения ОАО «РЖД» «ЭТРАН»).

База данных в режиме реального времени производит обмен с имитационным модулем. На основании полученных данных и выбранных пользователем критериев, имитационный модуль моделирует производственный процесс зачистки, где время зачистки одного вагона определяется, как среднее время зачистки вагонов со схожими параметрами.

На общее время зачистки влияет расстановка вагонов на путях зачистки и выбранный способ зачистки конкретного вагона. Таким образом, имитационная модель по выбранным пользователем параметрам распределяет вагоны по путям зачистки и фиксирует общее время зачистки, передавая его в интеллектуальный модуль.

Интеллектуальный модуль в свою очередь анализирует данные, учитывая ожидаемое количество вагонов и их теоретическое время зачистки (основываясь на виде груза в вагоне). Задача интеллектуального модуля подобрать последовательность вагонов таким образом, чтоб как можно больше вагонов было зачищено до прибытия новой партии на предприятие, учитывая критерии, задаваемые пользователем.

Для определения загрязненности вагона, система использует режим обучения. Интеллектуальный модуль анализирует массив вагона, выявляя закономерности. Критерий распределения по категориям – время зачистки вагона уборщиками (до 20 минут – 1 категория, до 60 минут – 2 категория, больше 60 минут – 3 категория). Возможность обработки вагонов второй и третьей категории техникой, проверяется следующим образом: для зачистки грейфером, система работает с показателями уровнемера (количество минимальных точек мусора) и оцифрованным изображением; вагоны под зачистку щеточной машиной определяются по количеству максимальных точек уровня мусора в вагоне и оцифрованным изображением. В процессе обучения, результаты записываются и хранятся в базе данных.

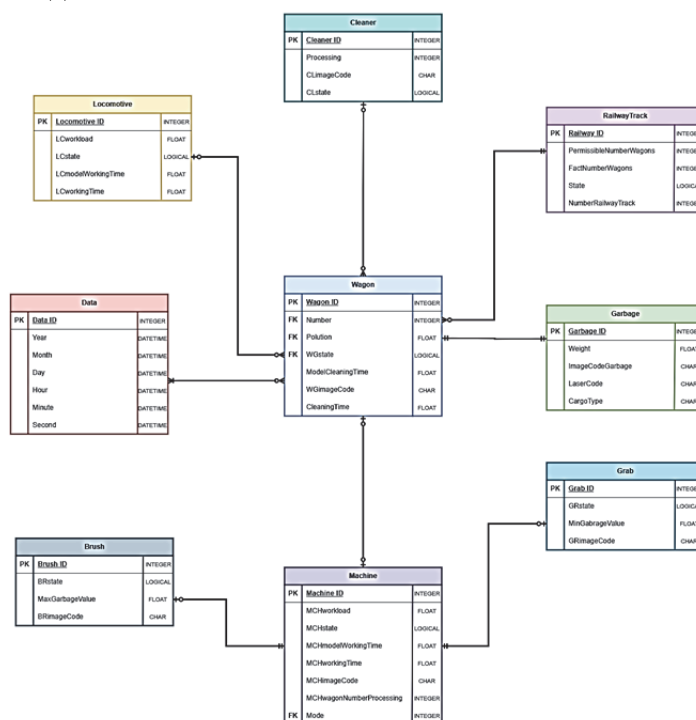


Рисунок 1 – Структура базы данных автоматизированной системы управления обслуживанием вагонов

Структура базы данных построена таким образом, что ключевой сущностью является вагон и исходя и дальнейшее обращение к данным зависит от свойств этого вагона (атрибутов).

«Дата» и «железнодорожный путь» связаны с номером вагона и позволяют отслеживать, количество вагонов, находящихся в пути и прибывших на завод, а также их расположение.

Загрязненность вагона напрямую связана с сущностью «Garbage» и зависит от ее атрибутов (загрязненность определяется интеллектуальным модулем на основании атрибутов).

Состояние вагона дает доступ к таким сущностям, как «локомотив», «уборщик», «погрузочно-разгрузочная машина».

Погрузочно-разгрузочная машина («Machine») по атрибуту «Mode» позволяет получить доступ к грейферу, либо щеточной машине.

У вагона может быть одна, либо несколько дат, но у даты может быть 0, либо несколько вагонов.

У вагона может быть один, либо ноль локомотивов, но у локомотива может быть 0, либо несколько вагонов.

У вагона может быть 0, либо несколько уборщиков, но у каждого уборщика может быть, либо 0, либо 1 вагон (в конкретный момент времени).

Каждый вагон имеет один железнодорожный путь (в конкретный момент времени), но на железнодорожном пути может быть 0, либо несколько вагонов.

Каждый вагон имеет одно содержимое и каждое содержимое находится в одном вагоне.

Каждый вагон может обрабатываться только одной «погрузочно-разгрузочной машиной», либо не обрабатываться вообще, и каждая «погрузочно-разгрузочная машина» может обрабатывать только один вагон.

Для «грейфера» и «щеточной машины», ограничения строятся следующим образом: на «погрузочно-разгрузочной машине» может находиться только один механизм, либо ничего, но для каждого механизма существует только одна «погрузочно-разгрузочная машина» (в конкретный момент времени).

### **Заключение**

Формирование базы данных, является ключевым этапом в разработке программного обеспечения, позволяющего определять способ обработки вагона, так как такая система будет основана на анализе данных, поступающих с внешней среды (загрязненность вагона, наличие свободной техники, ожидаемое поступление вагонов и т.д.) и работе с модельными данными (время обработки каждого вагона в сформированной интеллектуальном модулем последовательности).

Предложенная схема организации обмена данными, позволяет сформировать комбинации интерфейсов для эффективного управления производственным процессом с участием автоматизированной системы и человека. Сформированная модель позволит подобрать инструменты и методы для дальнейшего проектирования имитационного и интеллектуального модулей, а также системы распознавания содержимого в полувагонах.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

- 1 Тарасов И.В., Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития. Стратегии бизнеса. 2018;(5): С. 43-49. <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2018-5-43-49>
- 2 Бабкин А.В., Федоров А.А., Либерман И.В., Клачек П.М. Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие. Экономика промышленности / Russian Journal of Industrial Economics. 2021;14(4):375-395. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>
- 3 Менщиков А.А., Перфильев В.Э., Федосенко М.Ю., Фабзиев И.Р. Основные проблемы использования больших данных в современных информационных системах // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №1/2022.
- 4 Денисов С.Г. Технологии сбора и обработки данных для создания цифровых двойников // Бюллетень инновационных технологий. –2023. –Т. 7. –№ 2(26). –С. 12-17. –EDN ZKGLQC
- 5 Шевченко Д. В. Методология построения цифровых двойников на железнодорожном транспорте // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 2. С. 91 – 99. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-2-91-99>
- 6 Татарникова Т. М., Пойманова Е. Д. Модель многоуровневой организации системы хранения данных // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 2. С. 271–279. й

**СЕКЦИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ  
СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

УДК 539.3

Андреанов Иван Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Andrianov Ivan Konstantinovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor "Aircraft", Komsomolsk-na-Amure State University

Чепурнова Елена Константиновна, лаборант-исследователь, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Chepurnova Elena Konstantinovna, laboratory researcher, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ КАПСУЛЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛОПАТОК ГАЗОВЫХ ТУРБИН**

### **PARAMETRIC MODEL OF A CYLINDRICAL CAPSULE SHELL FOR A SYSTEM FOR DIAGNOSING DAMAGE TO GAS TURBINE BLADES**

Аннотация. В исследовании построена параметрическая модель оболочечной капсулы для системы обнаружения повреждений лопаток газотурбинного двигателя. Параметрическая модель представляла собой твердотельную модель цилиндрической оболочки, построенную с помощью ядра PARASOLID в программном комплексе ANSYS 19.0, на основании следующих параметров: толщины стенки и радиуса наружной поверхности оболочки. Данные параметры являются варьируемыми и позволяют менять геометрию оболочки при конечно-элементном расчете предельного давления на ее внутренней поверхности.

Abstract. In the study, it was necessary to build a parametric capsule model for a system for detecting damage to the blades of a gas turbine engine. The parametric model was a solid-state model of a cylindrical shell, built using the PARASOLID core in the ANSYS 19.0 software package, based on the following parameters: wall thickness and radius of the outer surface of the shell. These parameters are variable and allow you to change the geometry of the shell with a finite element calculation of the limiting pressure on the inner surface of the capsule.

Ключевые слова: цилиндрическая оболочка, параметрическая модель, предельное состояние, турбомашиностроение.

Key words: cylindrical shell, parametric model, limit state, turbomachinery.

#### **Введение**

Прогресс в развитие современного турбомашиностроения, безусловно, положительно влияет на эффективность деятельности таких отраслей как авиастроение, судостроение и др. Однако данный прогресс сопряжен с появлением ряда проблем. В частности, существенное повышение рабочих температур в газотурбинных установках приводит к снижению надежности работы элементов газотурбинного двигателя, риску появления и развития различных дефектов. Проблемы перегрева сегодня решаются с помощью рационального отвода тепла на основании различных систем внутреннего охлаждения, что отражено в работе [1]. В связи с повышением значений силовых нагрузок повышается износ деталей газотурбинного двигателя, могут появляться царапины, засечки, микроповреждения, которые в процессе циклического нагружения могут развиваться в полноценные трещины.

Наиболее актуальной сегодня является проблема обнаружения повреждений лопаток газотурбинных двигателей в нестационарных условиях. Для решения данной проблемы авторами в работах [2-5] были предложены подход и система обнаружения повреждений лопаток газотурбинного двигателя. Согласно предложенному подходу «в теле лопатки вдоль пера помещаются капсулы с активным веществом; по мере того как зародившаяся трещина растет и достигает капсулы она разрывается и активное вещество поступает в проточную часть турбины» [2]. Таким образом, один из важных вопросов заключается в разработке модели разрушения цилиндрической капсулы для системы обнаружения повреждений. Цель исследования заключалась в разработке параметрической модели цилиндрической оболочки, находящейся под внутренним давлением, с варьируемыми параметрами.

толщиной стенки  $\delta$  и радиусом наружной поверхности  $R$ . На основании твердотельной параметрической модели требовалось провести конечно-элементный расчет предельного давления внутри капсулы при следующих соотношениях варьируемых параметров:  $\delta/R = \{0.01; 0.05; 0.1; 0.2; 0.3; 0.5\}$ .

Варианты твердотельных моделей, построенных с помощью ядра PARASOLID в ANSYS на основании параметрической модели, представлены на рисунке 1 для различных соотношений толщины стенки и наружного радиуса поверхности. Область трещины моделировалась в виде свободного кольцевого участка наружной поверхности в центре цилиндрической оболочки. На остальные участки наружной поверхности накладывалось ограничение в виде отсутствия перемещений и углов поворота. На внутренней поверхности прикладывалось давление  $p$ . Расчет предельного давления  $p_{\max}$  проводился в последовательных приближениях. Условие окончания расчета:  $\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_B$ , где  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$  – эквивалентное напряжение по Мизесу,  $\sigma_B$  – предел прочности.

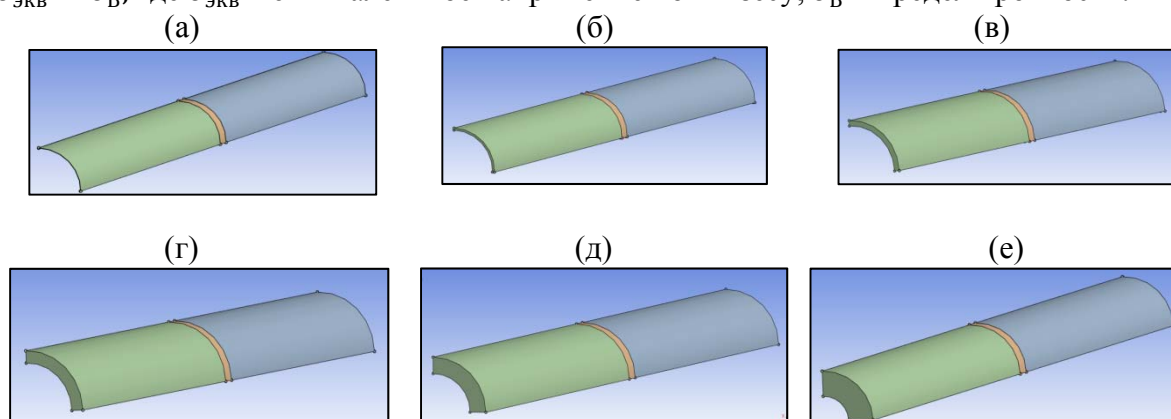


Рисунок 1 – Твердотельные модели цилиндрической оболочки при различных соотношениях параметров: толщины стенки и наружного радиуса оболочки:  $\delta/R = 0.01$  (а),  $\delta/R = 0.05$  (б),  $\delta/R = 0.1$  (в),  $\delta/R = 0.2$  (г),  $\delta/R = 0.3$  (д),  $\delta/R = 0.5$  (е)

Результаты расчета напряженного состояния оболочки при достижении оболочкой предельного состояния:  $\sigma_B = 460$  МПа – представлены на рисунке 2. Согласно полученным результатам с увеличением относительной толщины оболочки  $\delta/R$  снижается равномерность распределения эквивалентных напряжений по Мизесу в области свободной поверхности оболочки.

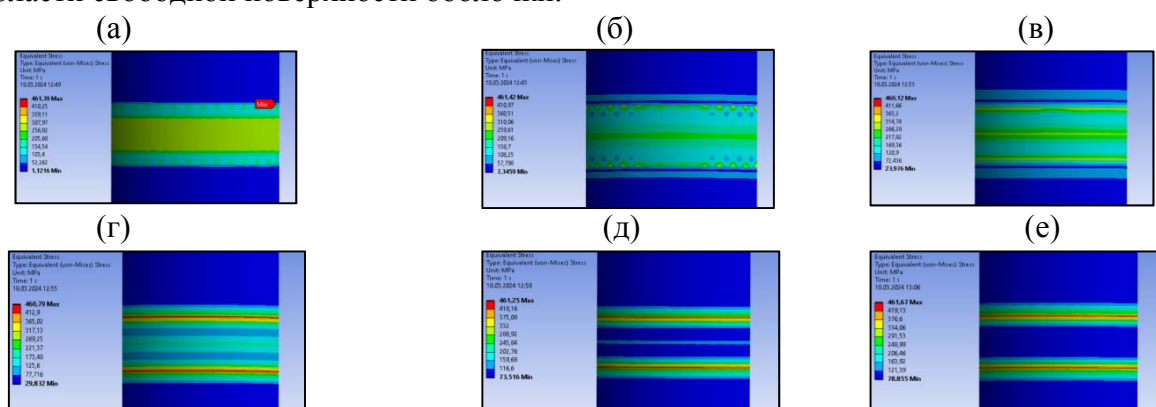


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу на внешней поверхности цилиндрической оболочки при достижении капсулой предельного состояния:  $\delta/R = 0.01$  (а),  $\delta/R = 0.05$  (б),  $\delta/R = 0.1$  (в),  $\delta/R = 0.2$  (г),  $\delta/R = 0.3$  (д),  $\delta/R = 0.5$  (е)

Проведена оценка разрушающего давления в цилиндрических оболочках при различных параметрах  $\delta$  и  $R$ . Результаты расчета представлены в виде зависимости предельной нагрузки  $p_{\max}/\sigma_B$  от относительной толщины оболочки  $\delta/R$  на рисунке 3.



Согласно полученным результатам с увеличением относительной толщины оболочки предельная нагрузка увеличивается.

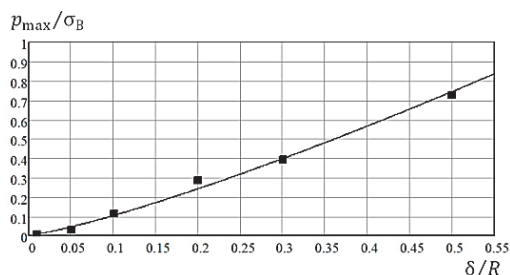


Рисунок 3 – Зависимость относительного разрушающего давления в параметрической модели капсулы от соотношения между геометрическими

использованы с целью оптимизации системы обнаружения повреждений в лопатках газотурбинного двигателя.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-79-10114 «Разработка системы диагностирования повреждений турбинных лопаток и способа оптимизации теплоотвода в условиях термической усталости» (<https://rscf.ru/project/22-79-10114/>)

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Andrianov, I. K. Numerical calculation of the heat sink parameters of the shell turbine vanes at the modeling of the heat-protective coating with a different number of layers / I. K. Andrianov, M. S. Grinkrug, A. A. Vakuluk // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 200. – P. 37-46. – DOI 10.1007/978-3-030-69421-0\_5.

2. Кара, Б. М. Способ обнаружения микротрещин в лопатках работающих газотурбинных двигателей / Б. М. Кара, М. С. Гринкруг, Ю. И. Ткачева // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля 2019 года / Ответственный редактор Э.А. Дмитриева. Том Часть 3. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. – С. 237-240. – EDN VTVUUP.

3. Гринкруг, М. С. Система повышения безопасности авиационных газотурбинных двигателей во время эксплуатации / М. С. Гринкруг, К. Б. Мохамад, Н. А. Новгородов // 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. 197-199.

4. Kara Balli M. Development of a system for detecting microcracks in turbine blades of aircraft engines. Mohamad, K.B., Grinkrug, M.S., Novgorodov, N.A., Tkacheva, J.I. AIP Conference Proceedings., 2023, 2700, 020027

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611350 Российская Федерация. Программа вычисления необходимого количества вещества для размещения в тонкостенных капсулах при создании системы обнаружения трещин в лопатках работающих газотурбинных двигателей : № 2023610220 : заявл. 10.01.2023 : опублик. 19.01.2023 / М. С. Гринкруг, Б. М. Кара, Н. А. Новгородов, Ю. И. Ткачева; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

#### Заключение

В рамках исследования построена твердотельная параметрическая модель в CAD/CAE-системе ANSYS, позволяющая строить геометрию оболочечной капсулы, находящейся под внутренним давлением при различном соотношении геометрических параметров оболочки: толщины стенки и наружного радиуса. Согласно результатам конечно-элементных расчетов минимальное разрушающее давление достигается при наименьшем отношении толщины стенки к наружному радиусу цилиндрической оболочки. Полученные результаты могут быть

УДК 004.3

Гулина Наталья Андреевна – магистрант, Комсомольский–на–Амуре государственный университет.

Gulina Natalya Andreevna – master student, Komsomolsk–na–Amure state University.

Монастырская Елизавета Игоревна – студент, Комсомольский–на–Амуре государственный университет.

Monastyrnaya Elizaveta Igorevna – student, Komsomolsk–na–Amure state University.

Трещев Иван Андреевич – к.т.н., доцент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем», Комсомольский–на–Амуре государственный университет.

Treshev Ivan Andreevich - Ph. D., head of the Department «Information security of automation systems», Komsomolsk–na–Amure state University.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ СИГНАЛОВ ЗА СЧЕТ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

### STUDY OF INFORMATION SIGNALS DUE TO SIDE ELECTROMAGNETIC RADIATED INFORMATION SYSTEMS

Аннотация. Данная работа посвящена оценке соответствия системы защиты информации автоматизированной системы требованиям безопасности информации от утечки по техническим каналам, в частности, по каналу побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ). В работе представлено описание автоматизированного рабочего места, используемых средств оценки, а также результаты измерений с использованием и без использования средств защиты.

Abstract. This work is devoted to assessing the compliance of the information protection system of an automated system with the safety requirements of information from leakage through technical channels, in particular, through the channel of side electromagnetic radiation (EMI). The paper presents a description of the automated workplace, the assessment tools used, as well as the measurement results "with" and "without" protective equipment.

Ключевые слова: система защиты информации, автоматизированное рабочее место, безопасность информации, ПЭМИ, технические средства.

Key words: information security system, automated workplace, information security, Tempest, technical means.

#### Введение

Основная задача данной работы провести оценку защищенности от утечки по каналу ПЭМИ для информационной системы состоящей из автономного АРМ использующего флеш-накопитель. Оценку проведем в соответствии с эмпирической методикой – будем оценивать отношение сигнал/шум [1]. При этом будем считать, что если данное отношение больше единицы, то информацию будем считать незащищенной, в остальных случаях, когда это отношение равно единице, будем говорить, что сигнал неразличим на уровне шумов, если меньше единицы – шум превышает сигнал и съем данных невозможен [2].

#### Описание АРМ и используемых средств оценки

В состав АРМ входят: системный блок РАМЭК GALE E7500, монитор Samsung

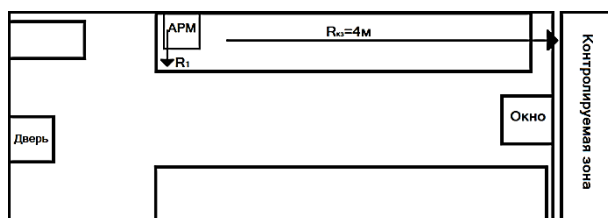


Рисунок 1 – Схема размещения АРМ



Рисунок 2 - Генератор сетевых помех Соната - PC1

E1920, клавиатура Microsoft Wired Keyboard 200, компьютерная мышь Microsoft, принтер HP P1102, флеш-накопитель Mirex USB32/64.

Схема размещения АРМ с привязкой к границам контролируемой зоны (помещение лаборатории) при измерениях представлена на рисунке 1.

В качестве средства защиты [3] будем использовать генератор сетевых помех Соната - РС1 (Рисунок 2).

### Условия проведения измерений ПЭМИ монитора

В качестве тест-сигнала для измерения ПЭМИ от монитора использовался сигнал, создаваемый специализированной тестирующей программой Zebra (Рисунок 3). Применялась тестовая программа для испытаний видеосистемы с интерфейсом VGA [4]. Программа формирует в цифровом тракте видеосистемы периодическую последовательность импульсов, при этом разрешение экрана составляет 1024 x768, частота обновления - 60 Гц, Режим вывода на экран тестового сигнала - точка через точку, полоска через полоску.

### Условия проведения измерений ПЭМИ флеш-накопителя

В качестве тест-сигнала для измерения ПЭМИ накопителей с интерфейсами USB использовался сигнал, создаваемый специализированной тестирующей программой (рисунок 4). Параметры информативных сигналов: режим работы интерфейса USB 2.0, тактовая частота работы интерфейса 480 МГц, тактовая частота следования информативных импульсов 240 МГц, длительность импульса 2.08 нс.

### Результаты измерений и расчёта

Результаты измерений излучения клавиатурой и мышью на расстоянии 1 метр показали, что их уровень ниже уровня фоновых электромагнитных помех в измеряемой полосе и при максимальной чувствительности селективного микровольтметра.

Опасные сигналы на расстоянии 1 метр от АРМ, излучаемые сетевыми адаптерами системных блоков и кабелем на частоте обмена с контролером системного блока, не выявлены на уровне фоновых электромагнитных помех использовавшимся измерительным приемником.

Используемые обозначения, правила перевода децибел относительно микровольта в микровольты представлены в [4].

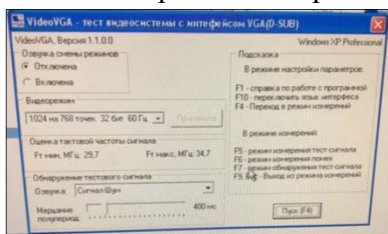


Рисунок 3 – Тестовая программа

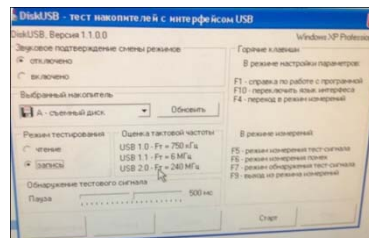


Рисунок 4 – Тестовая программа

### Результаты измерений ПЭМИ монитора

В режиме обнаружения тест сигнала тактовые частоты сигнала были выявлены на расстоянии 1 метр от монитора. Результаты измерений на расстоянии 1 метр и расчета отношения сигнал/шум для случая без использования генератора сетевых помех в таблице 1.

Таблица 1 – Измерение без защиты

$f_i$ (МГц)	L1, м	L2, М	УСШ (дБ/мкВ)	УШ $_i$ (дБ/мкВ)	К (дБ)	Ес+ш (дБ/мкВ/м)	ЕШ $_i$ (дБ/мкВ/м)	Ес+ш (мкВ/м)	ЕШ $_i$ (мкВ/м)	ЕС $_i$ (мкВ/м)
79	0,7	22,5	19	18	19,9	37,1	35,7	84,1	59,15	60,08
158	0,2	11,1	32	27	20,1	52,9	48,3	464,1	258,98	380,1

Из таблицы видно, что отношение сигнал/шум для всех найденных частот превосходит величину единицы.

## Результаты измерения ПЭМИ USB – накопителя

Измерения проводились на расстоянии 1 м от USB-накопителя, с полосой пропускания измерительного приемника 120 кГц (таблица 2).

Таблица 2 – Измерение без защиты

№	Флеш	f <sub>i</sub> (МГц)	L1 м	L2 м	Есш (мкВ/м)	ЕШi (мкВ м)	ЕСi (мкВ/м)
1	Флеш-накопитель Mirex USB32/64	240	0,2	7,5	115	64,6	97,8
2		480	0,2	3,25	123,1	51,3	116,6
3		720	0,05	2,7	218,5	21,9	221,1

Из таблицы видно, что отношение сигнал/шум для всех найденных частот превосходит величину единицы, а для 720 МГц более десяти.

## Результаты измерения ПЭМИ с использованием защиты

При использовании генератора сетевых помех результаты измерений и расчета излучений монитора приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Измерение с защитой

f <sub>i</sub> (МГц)	L1 м	L2 , м	УШ генерат (дБ/мкВ)	К (дБ)	ЕШ генератора (дБ/мкВ/м)	ЕШ генератора (мкВ/м)	ЕСi (мкВ/м)
64	0,73	26,325	40	19,3	58,3	906	231
178	0,29	10,9	40	19	59	1003	124,5

Как видно из таблицы отношение сигнал/шум удалось уменьшить с помощью применения защитных мер до приемлемых с точки зрения информационной безопасности значений.

## Заключение

Во-первых, отметим, что без использования средств защиты требуемый радиус контролируемой зоны очень велик, а применение средств защиты позволяет сократить его практически в 10 раз. В соответствии с выбранной методикой можно заключить, что защита АРМ обеспечивается в случае использования генератора. Отметим, что более рациональным является смена месторасположения исследуемого средства вычислительной техники и расчет расстояний на которых информативный сигнал уже будет неразличим.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Авдеев, В. Б. Сравнительная оценка методических подходов к расчёту отношения сигнал/шум в задачах контроля защищённости информации от утечки за счёт побочных электромагнитных излучений / В. Б. Авдеев, А. В. Анищенко // Специальная техника. – 2016. – № 1. – С. 54-63. – EDN ISYATZ.

2. Трещев, И. А. Об итерационном подходе к оценке защищенности по каналу побочных электромагнитных излучений / И. А. Трещев, В. А. Кузнецов, С. М. Ничипорук // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 февраля 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 145-146. – EDN GQUBNO.

3. Вильдяйкин, Г. Ф. Защита собственных полей объектов с позиции их изменений / Г. Ф. Вильдяйкин // 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. 272-278. – EDN KZKPNL.

4. Иванов, А. В. Оценка защищенности информации от утечки по каналам побочных электромагнитных излучений и наводок: учебное пособие / А. В. Иванов. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. - 64 с. - ISBN 978-5-7782-3713-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1867919> (дата обращения: 13.03.2024). – Режим доступа: по подписке.

УДК 62-523.8

Кошелев Даниил Сергеевич – аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Koshelev Daniil Sergeevich – graduate student of Komsomolsk-na-Amure State University

Мешков Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Meshkov Alexander Sergeevich - Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАБОТА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ**

### **OPERATION OF THE DC MOTOR SPEED CONTROL SYSTEM WITH VOLTAGE PULSE-WIDTH MODULATION**

Аннотация. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) используется для генерации импульсов с переменной частотой заполнения. Быстрый нарастающий и спадающий фронты сигнала ШИМ минимизируют время переключения и связанные с ним потери на переключение. В этой статье представлена система регулятора скорости двигателя постоянного тока, использующая технологию ШИМ.

Abstract. Pulse width modulation (PWM) is used to generate pulses with variable duty cycle rate. The rapid rising and falling edges of PWM signal minimises the switching transition time and the associated switching losses. This paper presents a DC motor speed controller system using PWM technique.

Ключевые слова: Двигатель постоянного тока, рабочий цикл, широтно-импульсная модуляция, регулятор скорости двигателя, преобразователь постоянного тока

Key words: DC motor, duty cycle, pulse width modulation, motor speed controller, DC-DC converter

#### **Введение**

В настоящее время все более распространение в электроприводах различного значения получают двигатели постоянного тока. Одной из проблем при использовании является регулирование частоты вращения. В современных системах регулирования используются три способа для изменения частоты вращения двигателя:

1. изменение напряжения питания;
2. изменение сопротивления якоря двигателя;
3. использование широтно-импульсной модуляции напряжения, подаваемого на двигатель.

#### **Основная часть**

Наиболее перспективным в настоящее время считается использование широтно-импульсной модуляции напряжения. В этом случае из постоянного напряжения, подаваемого на двигатель, с помощью системы управления формируется сигнал ступенчатой формы различной длительности. Величина среднего напряжения, подаваемого на двигатель зависит от продолжительности импульсов, которые формируются с помощью широтно-импульсного модулятора. Сигналы ШИМ отвечают за включение/выключение силового МОП-транзистора в понижающем преобразователе, следовательно, обмотки якоря двигателя получают среднее напряжение постоянного тока, которое будет определять скорость двигателя. Время, необходимое двигателю для ускорения и замедления в условиях переключения, зависит от инерции ротора, трения и крутящего момента нагрузки. Управляя рабочим циклом можно изменять среднее выходное напряжение постоянного тока. На рисунке 1 показаны импульсы с различной скважностью. Импульс с более высокой скважностью включается через более длительное время чем у более низкого рабочего цикла.

Рабочий цикл  $d$  регулируется уравнением

$$d = \frac{t_{on}}{T}, \quad (1)$$

где  $T$  — продолжительность одного периода,  
 $t_{on}$  — время работы.

Отношение времени включения к времени выключения называется рабочий цикл, который определяет скорость двигателя. Желаемую скорость можно получить, изменив рабочий цикл. Импульс ШИМ используется для управления рабочим циклом привода двигателя постоянного тока. Питание подается на двигатель в виде прямоугольной волны постоянного напряжения, но с изменяющимся шириной импульса или рабочим циклом. Рабочий цикл относится к проценту одного цикла, в течение которого он непрерывная серия импульсов. Поскольку частота поддерживается постоянной при изменении времени включения-выключения, рабочий цикл ШИМ определяется шириной импульса. Таким образом, мощность увеличивает рабочий цикл ШИМ. Период включения ШИМ при рабочем цикле 60 % выше, чем при рабочем цикле 40 %. Это способствует более высокой скорости двигателя при рабочем цикле 60 % по сравнению с рабочим циклом 40 %.

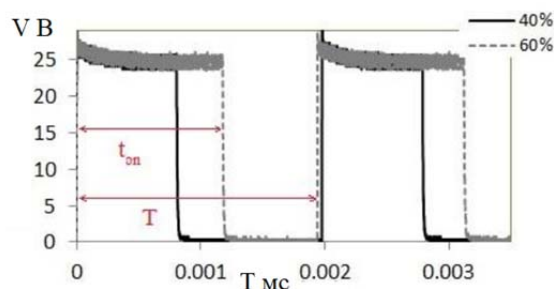


Рисунок 1 – Импульс при разном рабочем цикле

### Заключение

Рассмотрена работа системы регулирования скорости двигателя с использованием технологии ШИМ. Исследована связь между коэффициентом заполнения и выходным напряжением преобразователя. Установлено, что чем шире ширина импульса, тем большее среднее напряжение подается на клеммы двигателя. Это приводит к усилению магнитного потока внутри обмоток якоря, и следовательно к росту частоты вращения двигателя. Микроконтроллер обеспечивает гибкость управления скоростью за счет изменения рабочего цикла импульса ШИМ.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мин Ту Аунг Электроприводы малой мощности с двигателями последовательного возбуждения : автореф. дис. канд. а техн. наук : 05.09.03 / Мин Ту Аунг. – СПб., 2019. – 142 с.
2. Рыбушкин Н. А., Афанасьев А. Ю. Оптимальное управление электроприводом с двигателем постоянного тока // МОЛОДЕЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ Комсомольск-на-Амуре, 08–12 апреля, - 2019, - С. 437-439.
3. Селиванов, В.А. Системы управления электроприводами: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений обучающихся по специальности «Автоматизированные электроприводы» / В.А. Селиванов. – Могилев, 2010. – 28 с.
4. Пат. 2444838 Российская Федерация, МПК H02P 7/285 (2006.01). Устройство для стабилизации частоты вращения однофазного коллекторного электродвигателя / Суздорф В. И., Мешков А. С.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет"; заявл. № 2010135477/07 от 24.08.2010; 10.03.2012 Бюл. № 7.
5. Башарин, А.В. Управление электроприводами / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.

УДК 62-523.8

Кошелев Даниил Сергеевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Koshelev Daniil Sergeevich – graduate student of Komsomolsk-na-Amure State University

Вакулюк Алла Александровна – кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Vakulyuk Alla Aleksandrovna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОТНО- ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ**

### **DC MOTOR SPEED CONTROL SYSTEM USING PULSE - WIDTH MODULATION**

Аннотация. Рабочий цикл ШИМ используется для изменения скорости двигателя путем управления напряжением на клеммах двигателя. В схеме системы регулятора скорости двигателя постоянного тока используются микроконтроллер и понижающий преобразователь постоянного тока. Исследованы характеристики и работоспособность системы регулирования скорости двигателя постоянного тока.

Abstract. The PWM duty cycle is used to vary the speed of the motor by controlling the motor terminal voltage. Microcontroller and a DC-DC buck converter are employed in the DC motor speed controller system circuit. The characteristics and performance of the DC motor speed control system was investigated.

Ключевые слова: Двигатель постоянного тока, рабочий цикл, широтно-импульсная модуляция, регулятор скорости двигателя, преобразователь постоянного тока

Key words: DC motor, duty cycle, pulse width modulation, motor speed controller, DC-DC converter

#### **Введение**

В настоящее время во многих сферах двигателя постоянного тока имеют большие преимущества перед двигателями переменного тока благодаря своей надежности, экономической эффективности и производительности. Двигатели постоянного тока играют жизненно важную роль в современной промышленности для применений, которые зависят от скорости и скорость может варьироваться в широком диапазоне. Существует множество различных способов управления скоростью двигателей. В основном для управления скоростью используются три метода, а именно сопротивление якоря, поток возбуждения и напряжение якоря. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) — это простой метод управления напряжением. Когда на двигатель подается определенное напряжение, он вращает выходной вал с некоторой скоростью. Мощность, подаваемую на двигатель, можно контролировать, изменяя ширину подаваемых импульсов ШИМ и тем самым изменяя среднее напряжение постоянного тока, подаваемое на клеммы двигателя.

#### **Система управления скоростью вращения двигателя постоянного тока**

На рисунке 1 показана предлагаемая блок-схема системы регулятора скорости двигателя постоянного тока, состоящей из двигателя постоянного тока, блока управления ШИМ, понижающего преобразователя и источника питания постоянного тока. Схема драйвера используется для запуска силового МОП-транзистора в понижающем преобразователе. МОП-транзистор имеет напряжение затвор-исток  $\pm 20$  В и максимальное напряжение сток-исток 100 В. МОП-транзистор имеет минимальное пороговое напряжение затвор-исток 2 В. Выходной вывод схемы драйвера подключен к выводу затвора МОП-транзистора. Блок управления ШИМ может выдавать ШИМ-сигнал напряжением от 0 до 15 В.

На рисунке 2 показана схема преобразователя постоянного тока в постоянный, состоящая из МОП-транзистора, индуктора, конденсатора, диода и нагрузки на выходных клеммах. Понижающий преобразователь работает в режиме непрерывной проводимости на разной частоте и регулирует скорость, управляя средним напряжением постоянного тока, которое подается на обмотки якоря двигателя через переключающий элемент.



Рисунок 1 – Система регулятора скорости двигателя постоянного тока

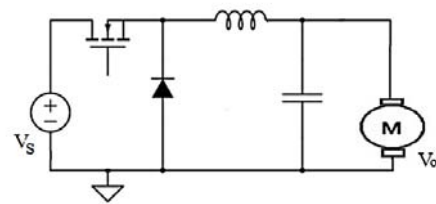


Рисунок 2 – DC-DC преобразователь (Конвертор)

Выходное напряжение преобразователя подается на обмотки якоря двигателя, а напряжение якоря изменяется с использованием метода широтно-импульсной модуляции, при котором изменяется рабочий цикл импульса и подается на ключ преобразователя через драйвер машины. Входное напряжение преобразователя постоянного тока представляет собой нерегулируемое напряжение постоянного тока  $V_S$ , равное 12 В. Преобразователь подает переменное выходное напряжение постоянного тока  $V_0$  на двигатель постоянного тока. Двигатель постоянного тока имеет номинальное напряжение 12 В и максимальную скорость 5000 об/мин. Скорость двигателя постоянного тока измеряется тахометром, который дает показания в об/мин.

Понижающий преобразователь имеет значение индуктивности 150 нГн на выходной стороне и действует как фильтр, обеспечивая плавный непрерывный выходной ток на нагрузку. Напряжение на индукторе определяется выражением

$$V = L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

где  $L$  – значение индуктора в Генри (Гн);  
 $di/dt$  – скорость нарастания тока индуктора.

Значение индуктивности рассчитывается на основе частоты переключения, напряжения нагрузки и тока нагрузки. Конденсатор подключается параллельно для устранения пульсаций тока от дросселя до стабильного выходного напряжения. Диод  $D$  проводит ток, когда МОП-транзистор выключен, и обеспечивает путь для прохождения тока через дроссель к нагрузке. Диод обеспечивает низкий ток утечки в цепи. Мощность, рассеиваемая диодом, определяется выражением

$$P_D = I_F \times V_F, \quad (2)$$

где  $I_F$  – средний прямой ток выпрямительного диода;  
 $V_F$  – прямое напряжение выпрямительного диода.

Контроллер ШИМ генерирует и управляет сигналом, который подается на вывод затвора МОП-транзистора. По мере увеличения времени, в течение которого напряжение включено, по сравнению с временем, в течение которого оно выключено, средняя скорость двигателя увеличивается, и наоборот. Частота ШИМ фиксирована на уровне 1 кГц. Контроллер представляет собой 40/44-контактное устройство, которое может работать с тактовой частотой до 20 МГц. Микроконтроллер подает импульс ШИМ напряжением около 5 В постоянного тока в схему драйвера. Схема драйвера обеспечит необходимое напряжение для включения МОП-транзистора. Это позволяет управлять скоростью двигателя постоянного тока с помощью рабочего цикла/цикла ШИМ.

### Заключение

Предложена система управления скоростью вращения двигателя постоянного тока с использованием широтно-импульсной модуляции. Данная система достаточно проста и может быть рекомендована к использованию.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Селиванов, В.А. Системы управления электроприводами: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений обучающихся по специальности «Автоматизированные электроприводы» / В.А. Селиванов. – Могилев, 2010. – 28 с.
2. Мин Ту Аунг Электроприводы малой мощности с двигателями последовательного возбуждения : автореф. дис. канд. а техн. наук : 05.09.03 / Мин Ту Аунг. – СПб., 2019. – 142 с.
3. Башарин, А.В. Управление электроприводами / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин. – М. : Высш. Школа, 1982. – 496 с., ил.
5. Бекишев, Р. Ф. Электропривод: Учебное пособие для академического бакалавриата / Р. Ф. Бекишев, Ю. Н. Дементьев. - М. : Юрайт, 2016. — 301 с.

УДК 629.735.33

Иванов Павел Олегович – ученик 11 технического класса, МОУ СОШ с УИОП №16  
Ivanov Pavel Olegovich – student of 11<sup>th</sup> technical class, school №16

Ткачева Юлия Ильинична – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Julia Ilyinichna Tkacheva – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Thermal Power Plants Department, Komsomolsk-na-Amure State University

## О ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРЫЛА САМОЛЕТА

### ABOUT THE POSSIBILITY OF THE AIRCRAFT WING CHARACTERISTICS IMPROVING

Аннотация. Крыло самолета является одним из основных элементов в самолете. Основной характеристикой крыла самолета является аэродинамическое качество. Чем больше аэродинамическое качество крыла, тем выше эффективность работы самолета и выше экономические характеристики всего самолета. Предложен способ повышения аэродинамического качества крыла самолета.

Abstract. An airplane wing is one of the main elements in an airplane. The main characteristic of an airplane wing is its aerodynamic quality. The greater the aerodynamic quality of the wing, the higher the efficiency of the aircraft and the higher the economic characteristics of the entire aircraft. A method for improving the aerodynamic quality of an aircraft wing is proposed.

Ключевые слова: крыло самолета, аэродинамическое качество, подъемная сила и сила сопротивления.

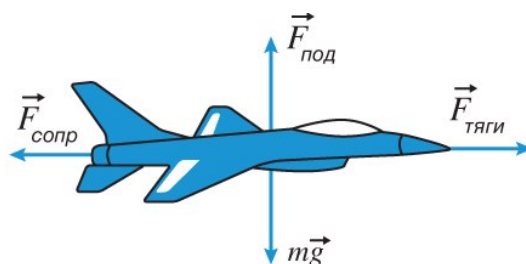
Key words: aircraft wing, aerodynamic quality, lift and drag force.

#### Введение

Одним из основных элементов самолета является его крыло. Оно служит для создания подъемной силы, которая удерживает самолет в воздухе. Вместе с тем при движении самолета в воздухе возникает сила сопротивления этому движению, которая играет большую роль в расходе топлива при полёте и, как следствие, её высокая величина, приводит к удорожанию полёта. Значительная часть этой силы возникает из-за аэродинамического сопротивления движению крыльев в воздухе, от чего перед конструкторами стоит задача в её снижении. В данной статье предложен один из способов снижения упомянутого сопротивления.

## Основная часть

Рассмотрим схему сил, действующих на самолет при горизонтальном полете (рисунок 1).



$\vec{F}_{\text{под}}$  – подъёмная сила, (Н),  $m\vec{g}$  – сила тяжести (постепенно уменьшается из-за уменьшения топлива), (Н),  $\vec{F}_{\text{сопр}}$  – сила сопротивления, (Н),  
 $\vec{F}_{\text{тяги}}$  – сила тяги, (Н)

Рисунок 1 – Схема сил, действующих на самолет при горизонтальном полете

Как видно из рисунка, при горизонтальном полёте на самолёт действуют четыре основные силы, при постоянной скорости движения равные друг другу попарно: сила тяжести равна подъёмной силе, сила тяги силе сопротивления движения. При этом очевидно, что, поскольку сила тяги создаётся работающим двигателем, чем больше сила сопротивления движению, тем больше затраты топлива при полёте.

Для оценки эффективности движения самолёта используется одна из основных характеристик крыла самолета - его аэродинамическое качество. Оно равно отношению подъёмной силы возникающей на крыльях самолета вследствие разности давлений, действующих на нижнюю и верхнюю поверхность крыла к силе сопротивления движению крыла в неподвижном воздухе. Чем больше аэродинамическое качество крыла, тем выше эффективность его работы и как следствие выше экономические характеристики всего самолета:

1. Больше грузоподъёмность.
2. Меньше расход топлива.

Повышение аэродинамического качества крыльев самолета посвящено большое количество исследований и работ [1, 2, 3].

Основные пути повышения эффективности крыла самолета представлены на рисунке 2.

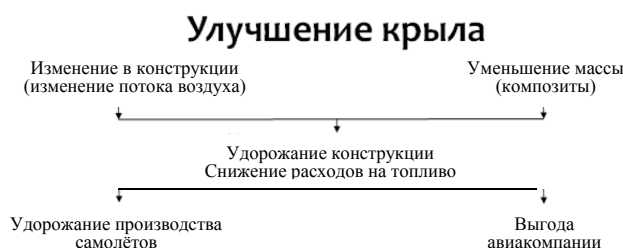


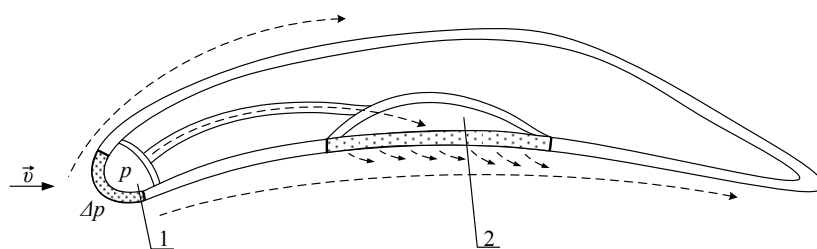
Рисунок 2 – Способы улучшения характеристик крыла самолета

В настоящее время используются два основных способа повышения эффективности крыла самолета, которые необходимо учитывать при планировании авиастроительного производства [4]:

1. Применение композитных материалов, для уменьшения массы крыла.
2. Аэродинамическая отработка крыла с применением закрылок, концевых изгибов крыла, различных ребер поперек крыла для снижения перетекания потока воздуха снижающих эффективность крыла.

В современных самолетах оба эти способа доказали свою эффективность, но потенциал их дальнейшего использования практически исчерпан. Поэтому нахождение новых способов повышения эффективности крыла является актуальной задачей [5, 6].

Предлагается следующий способ повышения эффективности крыла, рисунок 3.



1 – область повышенного давления в лобовой части крыла самолета;

2 – область повышенного давления в нижней части крыла самолета

Рисунок 3 – Предлагаемый способ улучшения характеристик крыла самолета

Суть способа заключается в следующем. При набегании потока воздуха на крыло самолета в передней части крыла образуется область повышенного давления за счет которой формируется сила сопротивления. Повышение давления можно оценить с помощью формулы  $\Delta P = \frac{\rho v^2}{2}$ , где  $\rho$  - плотность набегающего потока воздуха ( $\text{кг/м}^3$ ),  $v$  - его скорость (м/с).

Оценка этого избыточного давления для высот (9000-10000) м и скоростей самолета (850 – 900) км/ч, дает величину  $\Delta P = (0,3 - 0,4)10^5$  (Па).

Предлагается в крыле самолета выделить две полости 1 и 2 соединенные между собой трубопроводами. Полости со стороны крыла ограничены перфорированными или пористыми, проницаемыми для воздуха вставками. Воздух под действием повышенного давления проникает в полость 1, переходит в полость 2 и из 2 вставки выходит под крыло самолета. Таким образом снижается давление перед крылом самолета и уменьшается сила сопротивления. Одновременно с этим повышается давление под крылом самолета и повышается подъемная сила крыла.

#### **Заключение**

В данной статье предложен способ снижения сопротивления крыла самолёта его горизонтальному движению с помощью создания специальных полостей в теле крыла для осуществления перепуска набегающих потоков воздуха с передней поверхности крыла в его нижнюю часть.

Авторы отдают себе отчет, что предлагаемый способ изложен только на уровне идей и требует тщательной аэродинамической и технической проработки.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Международный промышленный портал: офиц. сайт. Москва, 2007. URL: <https://promvest.info/ru/innovatsii/povyishenie-aerodinamicheskogo-kachestva-i-nesuschih-svoystv-samoleta-za-schet-usovershenstvovaniya-ego-kryila>. Дата публикации 09.09.2010.

2. Сакорнсин Р., Попов С.А. Улучшение аэродинамических характеристик комбинированного крыла путем добавления треугольного выступа / Р. Сакорнсин, С.А. Попов // Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 65, 2013. – 29 с.

3. Головкин, М.А., Головкин В.А., Ефремов А.А. Метод улучшения аэродинамических характеристик несущей поверхности / В.А. Головкин, М.А. Головкин, А.А. Ефремов // Ученые записки ЦАГИ, том 27 №1–2, 1996. – 19 с.

4. Гусева, Ж. И. Особенности планирования производства на авиационном предприятии / Ж. И. Гусева // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2021. – № 4(52). – С. 99-104. – DOI 10.17084/20764359-2021-52-99. – EDN ZDLNGQ.

5. Бадягин А.А., Мухамедов Ф.А. Проектирование легких самолётов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с., ил.

6. Бондарев Е.Н., Дубасов В.Т., Рыжов Ю.А. и др. Аэрогидромеханика. – М.: Машиностроение, 1993. – 608 с.

УДК 621.45.03

Мохамад Кара Балли, Сирийский государственный университет, аспирант Комсомольского-на-Амуре Государственного Университета

Mohamad Kara Bally - Syrian State University, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Ткачева Юлия Ильинична, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО Комсомольский-на-Амуре государственный университет Julia Ilyinichna Tkacheva – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University, of Komsomolsk-na-Amure State University

Новгородов Никита Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Novgorodov Nikita Alexandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Thermal Power Plants Department, Komsomolsk-na-Amure State University

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА, ПОМЕЩАЕМОГО В КАПСУЛУ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТРЕЩИН В ЛОПАТКЕ ТУРБИНЫ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

### **DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING THE REQUIRED AMOUNT OF ACTIVE SUBSTANCE PLACED IN A CAPSULE TO DETECT CRACKS IN A JET ENGINE TURBINE BLADE**

Аннотация. Основным источником энергии на самолёте является двигатель, а основным источником мощности двигателя является турбина.

Условия, в которых работает лопатка турбины самолета, считаются одними из самых сложных условий эксплуатации для любых машин и механизмов, поскольку они подвергаются воздействию температур, высоким давлениям, высоким скоростям вращения и вибраций. Известно, что повреждение лопатки начинается с образования микротрещин, которые со временем растут, в результате чего лопатка разрушается, что приводит к разрушению турбины и двигателя и неизбежной катастрофе.

В предлагаемом методе по обнаружению трещин в лопатках турбины [1], одним из основных параметров, подлежащих определению является давление, при котором происходит разрушение капсулы в месте образования трещины, который в его очередь зависит от количеств активного вещества, помещаемого в капсулу. В этой статье разработана методика расчета необходимого количества активного вещества.

Abstract. The main source of energy on an aircraft is the engine, and the main source of engine power is the turbine. The conditions in which an aircraft turbine blade operates are considered one of the most difficult operating conditions for any machines and mechanisms, since they are exposed to temperatures, high pressures, and high rotation speeds. and vibrations. It is known that damage to a blade begins with the formation of microcracks, which grow over time, resulting in the destruction of the blade, which leads to the destruction of the turbine and engine and an inevitable disaster.

In the proposed method for detecting cracks in turbine blades, one of the main parameters to be determined is the pressure at which the capsule is destroyed at the site of crack formation, which in turn depends on the amounts of the active substance placed in the capsule. This article has developed a method for calculating the required amount of active substance.

Ключевые слова: активное вещество, капсулы, давление, температура потока.

Key words: active substance, capsules, pressure, flow temperature.

*Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10114 «Разработка системы диагностирования повреждений турбинных лопаток и способа оптимизации теплоотвода в условиях термической усталости»*

## Введение

В предлагаемом в [1] методе для обнаружения трещин в лопатках газовых турбин в тело лопатки помещается тонкостенная капсула с активным веществом. При возникновении трещины лопатки капсула разрывается и активное вещество поступает в проточную часть турбины, где регистрируется специальной системой.

Учитывая, что количество раствора активного вещества, которое добавляется в капсулу, определяет уровень образующегося в ней давления, была создана математическая формула для нахождения зависимости между давлением, которое создается в капсуле и количеством активного вещества в ней, учитывающая свойства материала капсулы, ее размеры и размеры трещины.

При расчете количества активного раствора, помещаемого в капсулу, необходимого для создания требуемого давления [2], принимаются следующие допущения и условия:

1. В качестве активного вещества принят насыщенный раствор  $\text{KNO}_3$  плотностью  $1,162 \text{ г/см}^3$  [3].
2. При температурах свыше  $400 \dots 500 \text{ }^\circ\text{C}$  активное вещество  $\text{KNO}_3$  разлагается по реакциям с увеличением количества газообразного вещества на 1,25 моля на каждый моль активного вещества.
3. В капсуле находится смесь воздуха, водяного пара и продуктов реакции разложения  $\text{KNO}_3$  в газообразном состоянии.
4. Объёмом  $\text{KOH}$  в жидком состоянии пренебрегаем.

Рассмотрим капсулу длиной  $L$  и внутренним диаметром  $d$  (рисунок 1).

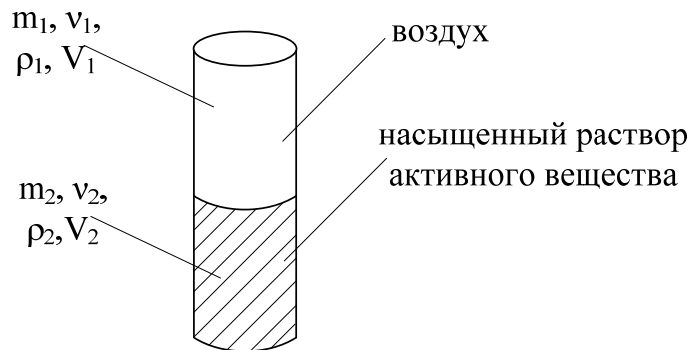


Рисунок 1 – Расчетная схема капсулы

Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева давление в капсуле определяется как:

$$P_k = \frac{4 \cdot \nu \cdot R \cdot T}{\pi d^2 \cdot L},$$

где  $\nu$  – количество молей газообразного вещества в капсуле;  $R = 8,314 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура лопатки [4, 5].

С другой стороны, давление в капсуле  $P_k$  можно найти по формуле:

$$P_k = P_T + \left( \frac{t}{H} \sigma_t + \Delta P \right) k,$$

где  $P_T$  – давление газа в проточной части турбины в месте расположения лопатки;  $\Delta P$  – добавочное давление  $2 \text{ МПа}$ ;  $k = 2,1$  – коэффициент, учитывающий наклон трещин к радиусу.

Приравняв левые части этих уравнений, получим:

$$P_T + \left( \frac{t}{H} \sigma_t + \Delta P \right) k = \frac{4 \cdot \nu \cdot R \cdot T}{\pi d^2 \cdot L}.$$

Количество молей газообразного вещества в капсуле складывается из количества молей воздуха  $\nu_1$  и количества молей, образованных за счёт воды из раствора и разложения  $\text{KNO}_3$  –  $\nu_2$ .

Из этого следует:

$$v_1 + v_2 = \left[ P_T + \left( \frac{t}{H} \sigma_t + \Delta P \right) k \right] \cdot \frac{\pi d^2 \cdot L}{4 \cdot R \cdot T}$$

Массу воздуха в капсуле определим по следующей формуле:

$$m_1 = \rho_1 \cdot \left( \frac{\pi d^2 \cdot L}{4} - V_2 \right) = \rho_1 \cdot \left( \frac{\pi d^2 \cdot L}{4} - \frac{m_2}{\rho_2} \right)$$

Количество вещества воздуха в капсуле найдем как:

$$v_1 = \frac{\rho_1}{\mu_1} \cdot \left( \frac{\pi d^2 \cdot L}{4} - \frac{m_2}{\rho_2} \right),$$

где  $\mu_1 = 29 \cdot 10^{-3}$  кг/моль – молярная масса воздуха;  $\rho_1 = 1,2$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха при температуре 20 °С;  $\rho_2 = 1162$  кг/м<sup>3</sup> – плотность насыщенного раствора KNO<sub>3</sub> при температуре 20 °С [4, 5].

Масса насыщенного раствора активного вещества распределяется следующим образом:  $0,24 \cdot m_2$  – активное вещество KNO<sub>3</sub>;  $0,76 \cdot m_2$  – вода. Поэтому число молей образующегося из раствора активного вещества массой  $m_2$ , будет равна:

$$v_2 = \frac{0,76 \cdot m_2}{0,018} + \frac{0,24 \cdot m_2}{0,103} \cdot 1,25.$$

Решая систему этих уравнений относительно  $m_2$  находим:

$$m_2 = \frac{\left[ P_T + \left( \frac{t}{H} \sigma_t + \Delta P \right) k \right] \cdot \frac{\pi d^2 \cdot L}{4 \cdot R \cdot T} - \frac{\rho_1}{\mu_1} \cdot \frac{\pi d^2 \cdot L}{4}}{45,13 - \frac{\rho_1}{\rho_2 \mu_1}}$$

По данному уравнению с учетом заданных параметров трещин ( $t$ ,  $H$ ) и свойств материала, из которого изготовлена капсула  $\sigma_t$ , а также длины лопатки  $L$  и диаметра капсулы  $d$  определяется масса активного раствора, которую необходимо поместить в капсулу для обнаружения трещин шириной  $H$ . Полученные значения массы сравниваются с предельно возможными вычислениями по формуле:

$$m_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot L \cdot \rho_2.$$

Если  $m > m_p$ , то следует, если возможно, уменьшить толщину капсулы или взять материал с меньшим значением  $\sigma_t$  при данной температуре. Затем расчёт повторяется.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гринкруг М.С., Поповский А.В. Способ диагностики зарождающихся дефектов. Патент на изобретение №2168724, РФ, RU C1 7 G 01 N 33/00, G 01 M 3/16, F 01 D 5/18 №2000106087/28; Заявлено 13.03.2000. Опубл. 10.06.2001. Бюл. № 16
2. Феоктистов, С. И. Определение несущей способности толстостенных осесимметричных оболочек, нагруженных внутренним давлением / С. И. Феоктистов, И. К. Андрианов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2021. – № 7(55). – С. 18-25. – DOI 10.17084/20764359-2021-55-18. – EDN EXYYBF.
3. M.S. Grinkrug, M. Kara Balli, J I Tkacheva, N A Novgorodov. Experimental study in order to choose an active substance in the early detection system of micro cracks in the turbine blade. March 2021.IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1111 012020.
4. Булыгин, В.С. Теплоёмкость и внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса / Москва МФТИ. 2012. - 13 с.
5. Кикоин, И.К. Таблицы физических величин / И.К. Кикоин // Атомиздат. 1976. - 1005 с.

УДК 621.45.03

Мохамад Кара Балли, Сирийский государственный университет, аспирант «Комсомольского-на-Амуре Государственного Университета»

Mohamad Kara Bally - Syrian State University, PhD student, Komsomolsk-on-Amur State University

Ткачева Юлия Ильинична, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» Julia Ilyinichna Tkacheva – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University, of Komsomolsk-na-Amure State University

Гринкруг Мирон Соломонович, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» Grinkrug Miron Solomonovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

### **РАЗРАБОТКА УПРОЩЕННОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВНУТРИ КАПСУЛ В СИСТЕМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ МИКРОТРЕЩИН В ЛОПАТКЕ ТУРБИНЫ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

### **THE DEVELOPMENT OF A SIMPLIFIED TECHNOLOGICAL SYSTEM CHARACTERIZES THE ELEMENTS OF A SYSTEM FOR DETECTING MICROCRACKS IN A JET ENGINE TURBINE BLADE**

Аннотация. Надежность является одним из наиболее важных факторов, принимаемых во внимание при выборе транспортного средства, и, хотя самолет является одним из самых безопасных средств передвижения, в настоящее время ведется работа по повышению надежности самолета. В этом исследовании представлен расчет давления разрушения оболочки капсулы в современной системе защиты турбины двигателей самолёта. Для данного метода важными факторами являются давление активного вещества внутри капсулы. От его величины зависит момент разрыва капсулы и способность активного вещества поступать в проточную часть двигателя. Давление активного вещества внутри капсулы зависит от количества активного вещества, помещенного в капсулу, объема капсулы, наличия внутри капсулы дополнительных активных и пассивных веществ, а также их температуры меняющейся в процессе эксплуатации авиационного двигателя. При эксплуатации авиационных двигателей температура лопаток меняется по сложному циклу

Abstract. Reliability is one of the most important factors taken into account when choosing a vehicle, and although the airplane is one of the safest means of transportation, work is currently underway to improve the reliability of the aircraft. This study present the calculation of the collapse pressure of the capsule shell in a modern turbine protection system; for this method, the important factors are the pressure of the active substance inside the capsule. The moment of capsule rupture and the ability of the active substance to enter the flow part of the engine depend on its value. The pressure of the active substance inside the capsule depends on the amount of the active substance placed in the capsule, the volume of the capsule, the presence of additional active and passive substances inside the capsule, as well as their temperature, which changes during operation of the aircraft engine. During the operation of aircraft engines, the temperature of the blades changes according to a complex cycle

Ключевые слова: активное вещество, капсулы, давление, температура потока.

Key words: active substance, capsules, pressure, flow temperature.

*Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10114 «Разработка системы диагностирования повреждений турбинных лопаток и способа оптимизации теплоотвода в условиях термической усталости»*

## Введение

В предлагаемом в [1] методе для обнаружения трещин в лопатках газовых турбин в тело лопатки помещается тонкостенная капсула с активным веществом. При возникновении трещины лопатки капсула разрывается и активное вещество поступает в проточную часть турбины, где регистрируется специальной системой.

Значение образующегося внутри капсулы давления, является одним из важнейших факторов, обеспечивающих эффективность предлагаемой системы диагностики возникновения трещин в лопаточных аппаратах работающих авиационных турбин [1]. Исходя из уровня давления и механических свойств материала капсулы можно определить размеры трещины, которая может быть обнаружена в системе при помощи регистрации активного вещества в проточной части [2].

Рассмотрим упрощенный механизм разрушения стенки капсулы под действием сил, возникающих в результате внутреннего давления активной среды, приложенных внутри капсулы на ее стенку в области трещины и сил давления внешней среды на капсулу. На рисунке 1 показан малый элемент стенки оболочки капсулы толщиной  $t$ , шириной  $H$  равной ширине трещины и длиной  $L$ .

Рассмотрим равновесие этого элемента в момент разрушения. На этот элемент действует внутреннее давление со стороны активного вещества  $P_k$ , находящегося в газообразном состоянии и давление внешней среды  $P_0$  [3]. В момент разрушения оболочки силы, возникающие вследствие давления газа с обеих сторон уравниваются силами, возникающими вследствие касательных напряжений  $\tau$  по плоскостям разрыва элемента оболочки.

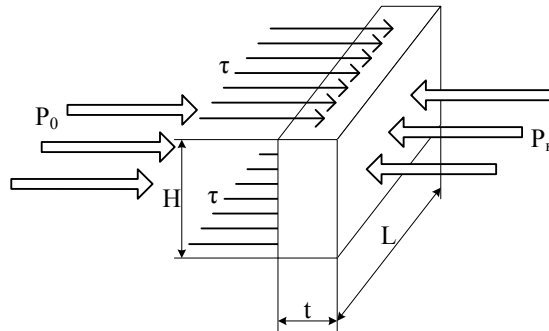


Рисунок 1 – Расчетная схема элемента оболочки капсулы

Так как длина трещины  $L$  намного больше ее ширины  $H$ , то влиянием касательных напряжений на торцах элемента можно пренебречь. Тогда из условия равновесия получим уравнение:

$$\Delta P \cdot L \cdot H = 2 \cdot \tau \cdot L \cdot t,$$

где  $\Delta P = P_k - P_0$  – разность давлений газа внутри капсулы и вне её.

С учетом предположения, что в момент разрушения касательное напряжение  $\tau$  равно половине предела текучести  $\sigma_t$ , получим:

$$\Delta P = \frac{t}{H} \sigma_t,$$

где  $\sigma_t$  – предел текучести материала при данной температуре.

С учетом этого давление, требуемое для разрушения оболочки капсулы найдем по следующей формуле:

$$P_k = \frac{t}{H} \sigma_t + P_0.$$

По этой приближенной формуле были рассчитаны давления внутри капсулы, необходимые для разрушения её оболочки. Параметры вариантов и результаты расчетов представлены в таблицах 1 – 2.

На рисунках 2 – 3 представлено сопоставление экспериментальных данных с результатами расчетов в программе Abaqus и по упрощенному методике [4-5].



Таблица 1 – Параметры капсул при постоянной толщине стенки и расчетные значения давления, разрушающего оболочку, произведенные по упрощенной методике

Толщины стенки капсулы $t = 0,5$ мм	
Длина трещин $L = 9,3$ мм	
Ширина трещин $H$ , мм	Давление $P$ , МПа
1,1	22,73
1,4	17,9
1,6	15,6

Таблица 2 – Параметры капсул при постоянной ширине трещины и расчетные значения давления, разрушающего оболочку, произведенные по упрощенной методике

Ширина трещин $H = 1,1$ мм	
Длина трещин $L = 9,3$ мм	
Толщины стенки капсулы $t$ , мм	Давление $P$ , МПа
0,5	22,73
0,4	18,18
0,3	13,36
0,2	9,09

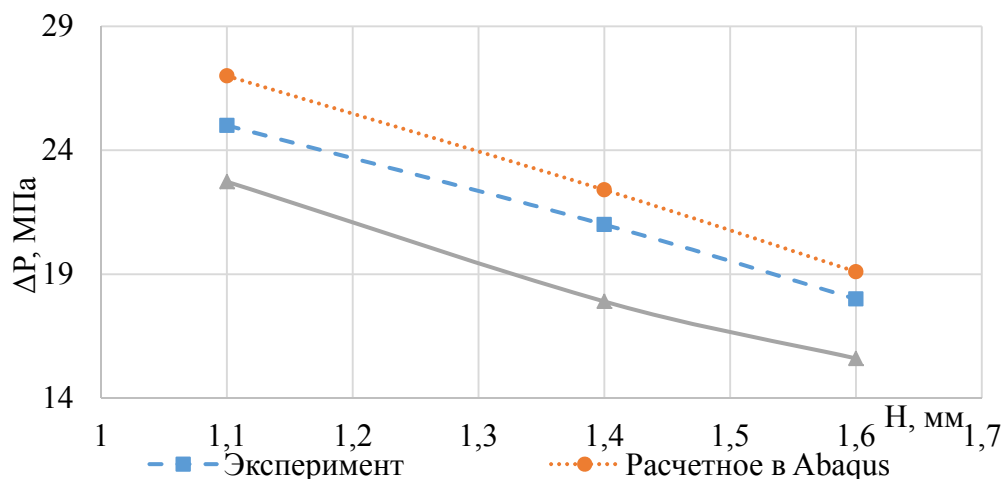


Рисунок 2 – Сопоставление расчетных, экспериментальных значений давления в капсуле, необходимого для разрушения оболочки при постоянной толщине стенки капсулы

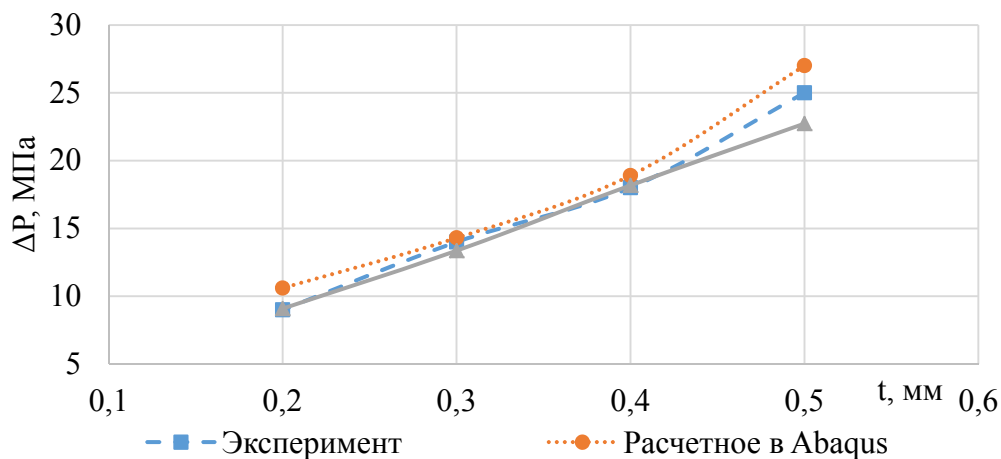


Рисунок 3 – Сопоставление расчетных, экспериментальных значений давления в капсуле, необходимого для разрушения оболочки при постоянной ширине трещины

В результате проведенного эксперимента установлено что значение давления разрушения оболочки при малых толщинах стенки капсулы (меньше 0,4 мм) практически одинаково для двух расчетных методов (упрощенного и с помощью программного комплекса Abaqus) и совпадает со значением, полученным в эксперименте. При больших значениях толщины стенки оболочки капсулы расчет по упрощенной методике даёт меньшее значение давления, необходимого для разрушения капсулы на величину 2...3 МПа по сравнению с экспериментальными данными во всем диапазоне изменения ширины трещины.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гринкруг М.С., Поповский А.В. Способ диагностики зарождающихся дефектов. Патент на изобретение №2168724, РФ, RU C1 7 G 01 N 33/00, G 01 M 3/16, F 01 D 5/18 №2000106087/28; Заявлено 13.03.2000. Оpubл. 10.06.2001. Бюл. № 16
2. M.S. Grinkrug, M. Kara Balli, J I Tkacheva, N A Novgorodov. Experimental study in order to choose an active substance in the early detection system of micro cracks in the turbine blade. March 2021.IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1111 012020.
3. Гринкруг М.С., Кара Балли Мохамад, Ткачева Ю.И. Способ обнаружения микротрещин в лопатках работающих газотурбинных двигателей Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2019. – Ч. 3. -226 – 229 с.
4. Кара Балли Мохамад, Гринкруг М.С., Новгородов Н.А. Система повышения безопасности авиационных газотурбинных двигателей во время эксплуатации, Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Комсомольска-на-Амуре 14 - 18 ноября 2022 г. /редкол.: И.Н. Журбина (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2022. - 197-199 с.
5. Кара Балли Мохамад, Гринкруг М.С., Андрианов И.К., Новгородов Н.А. Finite Element Calculation of The Limiting Pressure for Rupture of Capsules with An Active Substance in the crack detection System of gas turbine blades, DOI: 10.1007/978-3-031-35311-6\_72 In book: Software Engineering Research in System Science (pp.757-768), July 2023.

УДК 620.9

Костиков Сергей Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kostikov Sergey Alexandrovich, post-graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Гринкруг Мирон Соломонович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grinkrug Miron Solomonovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Plants, Komsomolsk-na-Amure State University

#### **ОСОБЕННОСТИ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

#### **FEATURES OF AUTONOMOUS HEAT SUPPLY SYSTEMS FOR LOW-RISE CONSTRUCTION USING RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Аннотация. В данной работе рассматривается проблематика использования автономных систем теплоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. Наиболее известным и распространённым среди возобновляемых источников энергии является солнечная энергия. В зависимости местоположения, солнечная энергетика способна сократить потребление внешних энергоресурсов от 30 до 70%.

Ввиду того, что интенсивность солнечного излучения и тепловая нагрузка на автономную систему теплоснабжения значительно изменяются не только в течение всего отопительного периода, но и в течение суток. Это приводит к вопросу об эффективном управлении тепловой нагрузкой основного и дополнительного источников тепла. В работе представлена актуальность данной тематики и краткий обзор проблемных вопросов об управлении автономными системами теплоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии.

Abstract. This paper examines the problems of using autonomous heat supply systems using renewable energy sources. The most famous and widespread among renewable energy sources is solar energy. Depending on the location, solar energy can reduce the consumption of external energy resources from 30 to 70%. Due to the fact that the intensity of solar radiation and the heat load on the autonomous heating system vary significantly not only during the entire heating period, but also during the day. This leads to the question of effective control of the thermal load of the main and additional heat sources. The paper presents the relevance of this topic and a brief overview of problematic issues about the management of autonomous heat supply systems using renewable energy sources.

Ключевые слова: солнечная энергия, стена Тромба, управление энергоресурсами.

Key words: solar energy, Trombe wall, energy management.

Проблемы энергосбережения и экономии топлива всё больше и больше выходят на первый план в вопросах энергоснабжения [1,2]. Одной из важных отраслей энергоснабжения является теплоснабжение. Согласно [3], за 2023 год доля малоэтажного строительства в Российской Федерации выросла на 2,6% и составляет около 62% от общего объема жилищного фонда. Рост малоэтажного строительства обусловлен множеством различных факторов [4]. Одним из факторов определяющих успешное строительство в этом случае является создание автономной системы теплоснабжения с целью обеспечить требуемым количеством тепловой энергии для технологических и коммунально-бытовых потребностей потребителя. Применение автономных систем теплоснабжения в малоэтажном строительстве позволяет значительно снизить денежные затраты на коммунальные платежи по сравнению с затратами при проживании в многоквартирном доме. Это связано с тем, что при использовании в малоэтажном строительстве автономной системы теплоснабжения возникает возможность непосредственно управлять и автоматизировать процессы работы системы теплоснабжения.

Внедрение системы управления и автоматизации автономной системы теплоснабжения малоэтажного здания позволит достичь следующего [5]:

- повышение эффективности системы теплоснабжения при выборе тепловой нагрузки в текущий момент;

- снижение эксплуатационных затрат на покупку извне потребляемого вида топлива;

- продление эксплуатационного срока оборудования системы теплоснабжения.

Автономная система теплоснабжения предназначена для получения, переноса и передачи тепловой энергии к потребителю, поддержания благоприятного микроклимата в отапливаемом здании. В данном случае, под микроклиматом понимается метеорологические параметры внутреннего воздуха, такие как температура, относительная влажность и подвижность внутреннего воздуха, и качество самого воздуха в помещении [5]. Под коммунально-бытовыми потребностями рассматривается горячее водоснабжение.

В основном, автономная система теплоснабжения малоэтажного здания включает в себя следующие элементы: тепловой источник (отопительный котел), теплопровод (трубы), отопительные приборы (батареи, радиаторы), водонагреватели (бак-аккумулятор), расширительный бак, циркуляционные насосы и трубопроводная арматура.

На сегодняшний день актуальны такие автономные системы теплоснабжения, которые потребляют только возобновляемые источники энергии. Среди возобновляемых

источников энергии наиболее распространена солнечная энергия. Несмотря на такие недостатки солнечной энергии как непостоянство и большая зависимость падающего солнечного излучения от местоположения, в определенном диапазоне широт местности (от 55° до 40°) она способна значительно повысить уровень автономности систем теплоснабжения малоэтажных зданий и сократить потребление внешних энергоресурсов от 30-70% (рисунок 1). На рисунке 1 показаны зависимости падающей солнечной энергии на 1 м<sup>2</sup> и необходимой тепловой энергии для 1 м<sup>2</sup> тепло- потребителя в течение года.

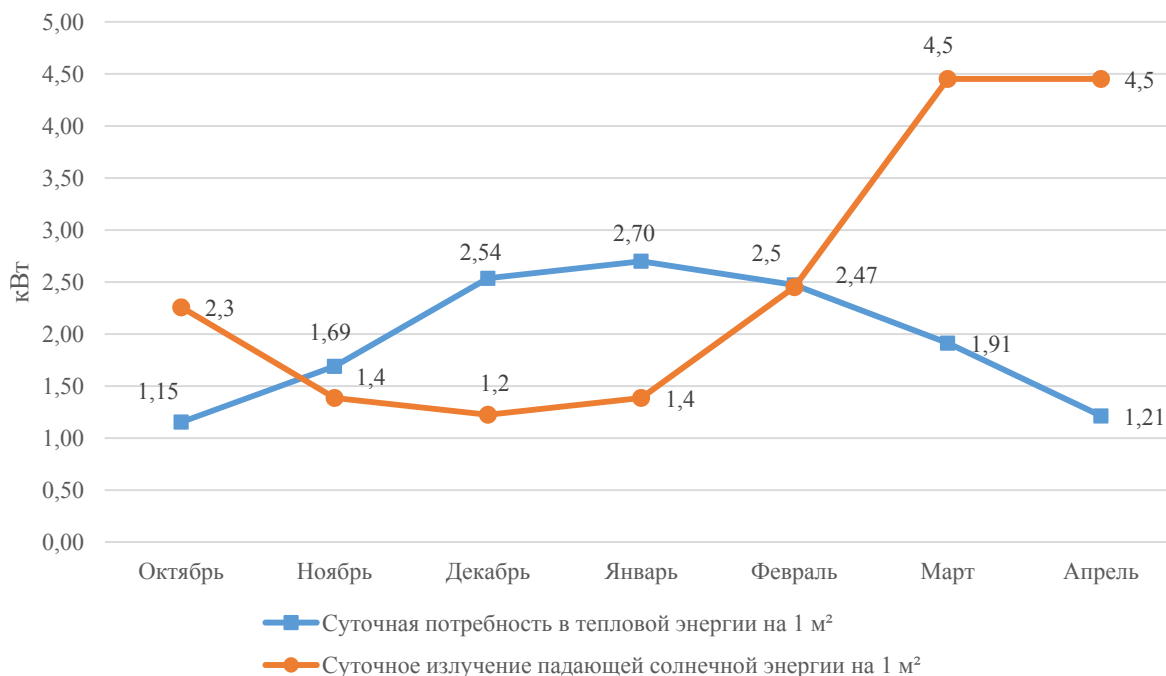


Рисунок 1 – Соотношение между суточной потребностью в тепловой энергии и суточной падающей солнечной энергии на 1 м<sup>2</sup> за отопительный период в г. Комсомольск-на-Амуре

Согласно расчетным данным на рисунке 1, можно сделать вывод о том, что в г. Комсомольск-на-Амуре, который располагается на 50°33' северной широты, суточная солнечная активность имеет значительную долю при применении солнечной энергии в автономных системах теплоснабжения, который может позволить сократить потребление внешних энергоресурсов в самые холодные месяцы (зимние) примерно на 40%, в осенне-весенний период от 0 до 100%. Ввиду того, что полностью покрыть потребность в тепловой энергии на отопление помещений здания только за счет падающего солнечного излучения невозможно, по этой причине элементы солнечной энергетики должны использоваться только как дополнительные источники энергии в автономной системе теплоснабжения.

Кроме сезонной неравномерности интенсивности падающей солнечной энергии и сезонной неравномерности необходимой для отопления тепловой энергии существует так же значительная суточная неравномерность этих величин. Это приводит к необходимости запасать часть падающей солнечной энергии в аккумулирующих устройствах и выдавать эту энергию в систему теплоснабжения при необходимости. Эти факторы делают необходимой создание системы автоматического регулирования этими процессами в системе автономного теплоснабжения.

Таким образом, возникает актуальность данной тематики. При использовании комбинированной системы теплоснабжения с несколькими источникам тепла возникает вопрос о том, как управлять и как регулировать их совместную работу в течение всего отопительного периода, когда количество падающего солнечного излучения на 1 м<sup>2</sup> напрямую зависит от времени года и погодных условий, и соответственно так же будет меняться и тепловая нагрузка на основной источник тепла.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Экспериментальное исследование преобразования энергии суточного перепада температур / В. А. Челухин, А. В. Васильев, Е. В. Абрамсон, З. А. Пьей // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2023. – № 5(69). – С. 43-52. – DOI 10.17084/20764359-2023-69-43.
2. 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 JEKHFV.
3. МИНСТРОЙ РОССИИ // Мониторинг объемов жилищного строительства. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://minstroyrf.gov.ru/trades/zhilishnaya-politika/8/> (дата обращения: 01.03.2014).
4. Манохин, П. Е. Рынок малоэтажного жилищного строительства / П. Е. Манохин, С. Э. Пономарев // Анализ текущей ситуации и основные проблемы, Вестник магистратуры, 2022. – С. 65-69.
5. Серяченко, М. В. Модель автоматизации тепловодоснабжения жилого дома / М. В. Серяченко // EUROPEAN JOURNAL OF NATURAL HISTORY, 2021. – С.70-75.

УДК 620.9

Костиков Сергей Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kostikov Sergey Alexandrovich, post-graduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Гринкруг Мирон Соломонович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grinkrug Miron Solomonovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Plants, Komsomolsk-na-Amure State University

## **О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В МАЛОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **THE NEED FOR DEVELOPING A CONTROL SYSTEM IN AN AUTONOMOUS HEAT SUPPLY SYSTEM USING SOLAR ENERGY IN LOW-RISE CONSTRUCTION**

Аннотация. В данной статье рассматривается проблематика применения солнечной энергии в автономных системах теплоснабжения малой мощности. Солнечная энергия является одним из самых распространённых и легкодоступных возобновляемых источников энергии. Ввиду того, что температура наружного воздуха и количество падающего солнечного излучения меняется не только в течение всего отопительного сезона, но и в течение суток. Разница температур наружного воздуха между ночными и дневными значениями в 10°C может значительно сказаться на изменении тепловой нагрузки в 25-35%. В результате чего, возникает большая необходимость в разработке системы управления системы управления и автоматики для автономной системы теплоснабжения небольшой мощности с использованием солнечной энергии.

Abstract. This article discusses the problems of using solar energy in autonomous low-power heat supply systems. Solar energy is one of the most widespread and easily accessible renewable energy sources. Due to the fact that the outside air temperature and the amount of incident solar

radiation changes not only throughout the heating season, but also throughout the day. A 10°C difference in outside air temperatures between night and day can significantly affect the change in heat load by 25-35%. As a result, there is a great need to develop a control system and automation system for an autonomous low-power heat supply system using solar energy.

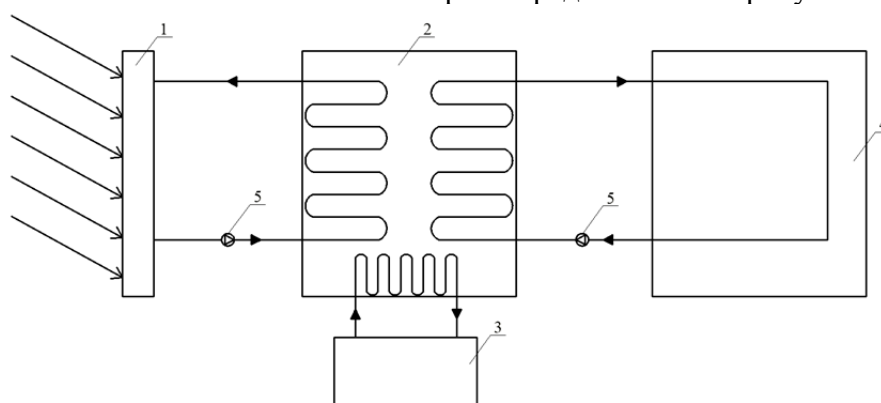
Ключевые слова: автономная система теплоснабжения, солнечная энергетика, управление энергоресурсами.

Key words: autonomous heat supply system, solar energy, energy resource management.

Малозэтажное строительство в Российской Федерации в настоящее время получило широкое распространение, и ее доля в общем жилищном строительстве растет [1]. При этом, в силу удаленности от систем центрального отопления в связи с необходимостью прокладки протяженных инженерных сетей, все большее применение находят автономные системы теплоснабжения и горячего водоснабжения. Различают три вида таких систем 1) с использованием топлива и котельных агрегатов малой мощности, 2) с применением электрических бойлерных установок с подключением их к системам электроснабжения, 3) с использованием возобновляемых источников энергии в качестве которых выступает солнечная энергия или низкопотенциальное тепло земли.

В настоящее время наиболее перспективным является применение систем теплоснабжения третьего вида. Несмотря на более высокую стоимость их постройки, они позволяют получать более дешевую энергию за счет отказа от дорогостоящего топлива или электроэнергии, или существенно уменьшают их потребление.

Принципиальная схема автономной системы теплоснабжения небольшой мощности с использованием солнечной энергии представлена на рисунке 1.



- 1 – Солнечный нагреватель, 2 – Аккумулятор тепловой энергии, 3 – Резервный или дополнительный источник энергии, 4 – Потребитель тепловой энергии,  
5 – Насос или компрессор для циркуляции теплоносителя

Рисунок 1 – Принципиальная схема автономной системы теплоснабжения небольшой мощности

Система работает следующим образом. После восхода солнца нагреватель начинает излучать энергию, и температура теплоносителя в нем возрастает. Количество его в это время должно быть небольшим, чтобы температура теплоносителя была выше чем температура среды в тепловом аккумуляторе. По мере повышения высоты солнца над горизонтом количество падающей энергии на нагреватель увеличивается. Одновременно с этим должен увеличиваться расход теплоносителя через нагреватель. При этом происходит зарядка тепловой энергией аккумулятора. В дальнейшем при снижении высоты солнца над горизонтом количество падающей энергии уменьшается и требуется снижать расход теплоносителя, идущий на солнечный нагреватель. При заходе солнца перекрывается магистраль теплоносителя на нагреватель. Таким образом, во время работы системы теплоснабжения требуется регулировать расход теплоносителя через трубопровод, соединяющий солнечный нагреватель и аккумулятор тепловой энергии.

При применении автономной системы теплоснабжения небольшой мощности с использованием солнечной энергии тепловая нагрузка изменяется не только в течение отопительного периода в целом, но и в течение суток. В данном случае, падающее солнечное излучение оказывает большое влияние на динамику изменения наружной температуры воздуха в течение суток, которое в свою очередь оказывает влияние и на тепловую нагрузку системы теплоснабжения. Это обусловлено снижением тепловых потерь отапливаемого здания при повышении температуры наружного воздуха. В течение отопительного сезона разница температур наружного воздуха между дневными и ночными значениями может достигать от 10°C до 20°C в зависимости от месяца, то в таком случае тепловая нагрузка в дневное время может снизиться от 25% до 35% (формула 1 [2]).

$$Q_0^{ci} = [Q_0^c(t_i - t_o^{ci}) / (t_i - t_o^c)] \frac{k_t(t_o^{ci})}{k_t(t_o^c)} n_i, \quad (1)$$

где  $Q_0^{ci}$  – тепловая энергия, потребляемая системой теплоснабжения, кВт·час  $Q_0^c$  – общие расчетные теплопотери, кВт·час;  $t_i$  – внутренняя расчетная температура отапливаемого помещения, °C;  $t_o^{ci}$  – средняя температура окружающего воздуха, °C;  $t_o^c$  – расчетная температура наружного воздуха в отопительный период, °C;  $k_t$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры окружающего воздуха на теплопотери из-за инфильтрации;  $n_i$  – продолжительность -го периода, час.

Если не учитывать динамику изменений наружной температуры воздуха и падающего солнечного излучения в течение суток, то при рассматриваемом примере температура внутреннего воздуха в помещении будет значительно повышаться, что приведет к ощущению дискомфорта у находящихся людей внутри здания. В дальнейшем это отразится на увеличении тепловых потерь, так как нужно будет охлаждать здание через открытые окна или вентиляционную систему в целом. Таким образом, необходимо регулировать температуру внутреннего воздуха путем изменения количества подаваемого теплоносителя или его температуры.

Актуальность данной проблематики заключается в том, что автономные системы теплоснабжения небольшой мощности с использованием солнечной энергии пользуются огромным спросом, но эффективность таких систем теплоснабжения во многом зависит от выбранной системы управления и автоматизации.

### **Выводы**

Солнечная энергия в течение всего отопительного сезона значительно влияет на изменение температур наружного воздуха как по всему сезону, так и в течение суток. В результате чего, и тепловая нагрузка автономной системы теплоснабжения с использованием солнечной энергии должна изменяться в соответствии с динамикой изменения наружной температуры воздуха. В связи с чем возникает большая необходимость в разработке системы управления и автоматики для автономной системы теплоснабжения небольшой мощности с использованием солнечной энергии, которая будет реагировать на изменения падающего солнечного излучения и температур как наружного воздуха, так и воздуха внутри здания.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. МИНСТРОЙ РОССИИ // Мониторинг объемов жилищного строительства. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://minstroyrf.gov.ru/trades/zhilishnaya-politika/8/> (дата обращения: 01.03.2014).
2. Данилова О. Л. Практическое руководство по выбору и разработке энергосберегающих проектов / О. Л. Данилова, П. А. Костюченко. – 2006. С. 292-300.

УДК 66.086.2

Пухов Алексей Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Puhov Alexey Alexandrovich , graduate student of Komsomolsk-na-Amure State University

Гринкруг Мирон Соломонович, канд. техн. наук, доцент кафедры ТЭУ Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grinkrug Miron Solomonovich , Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Cathedra "TPP" Komsomolsk-na-Amure State University

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ ТОКА ЭЛЕКТРОЛИЗА ОТ НАПРЯЖЁННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ В КАЧЕСТВЕ СРЕДЫ**

### **EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE ELECTROLYSIS CURRENT DENSITY ON THE ELECTRIC FIELD STRENGTH NEAR THE ELECTRODE FOR DISTILLED WATER AS A MEDIUM**

Аннотация. В данной статье рассмотрены последние экспериментальные данные о процессах электролиза, которые выдвигают гипотезу о преобладающей роли электрического поля высокой напряжённости, формируемого в малой области пространства между ионом в растворе и поверхностью электрода в процессах разложения воды на гидроксид-анионы и ионы протия. С целью подтверждения выдвинутой гипотезы проведён эксперимент по изучению влияния значения напряжённости электрического поля в приэлектродном пространстве на плотность тока электролиза, на основании чего сделан вывод о жизнеспособности выдвинутой гипотезы.

Abstract. This article discusses the latest experimental data on electrolysis processes, which hypothesize the predominant role of a high-intensity electric field formed in a small area of the space between an ion in solution and the electrode surface in the decomposition of water into hydroxide anions and protium ions. In order to confirm the hypothesis put forward, an experiment was conducted to study the effect of the value of the electric field strength in the near-electrode space on the current density of electrolysis, on the basis of which a conclusion was made about the viability of the hypothesis put forward.

Ключевые слова: электролиз, электрические поля высокой напряжённости, электролитическое разложение воды.

Key words: electrolysis, high-intensity electric fields, electrolytic decomposition of water.

#### **Введение**

Исследование процесса электролиза во многих его вариациях является и по сей день достаточно широким пластом постоянно эволюционирующего знания. Тем не менее, основные принципы, лежащие в основе данного процесса и сейчас представляются плодами с достаточно высокой долей спекуляции, что связано как с потенциальной высокой сложностью изучения процесса электролиза как явления из-за масштабов и характерных времён протекания, недоступных для современного оборудования прямого измерения, а также с тем, что процесс представляет собой, как это сейчас кажется наиболее вероятным, целую цепочку параллельно протекающих реакций, вычленив индивидуальную роль каждой из которых не представляется возможным в виду целого ряда неустраняемых причин. Наиболее классической проблемой электролиза, в лице одного из широко представленных в науке и технике его реализаций, является проблема поиска причин, вызывающих диссоциацию нейтральных молекул воды на ионы для их участия в электрохимических реакциях.

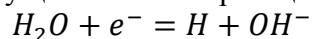
В данной статье рассмотрены результаты эксперимента по исследованию частных параметров протекания электролиза в лице зависимостей плотности тока от



напряжённости электрического поля в приэлектродном пространстве в среде дистиллированной воды для высоких значений напряжённости.

### Основная часть

Из достоверных литературных данных известно, что энергия разложения нейтральной молекулы на ионы  $H^+$  и  $OH^-$  является крайне высокой для равновесных по энергии процессов имеет значение более 16 эВ [1,2]. С условием того, что в большинстве теоретической литературы в качестве основной реакции электролиза для нейтральной по кислотности среды предлагается реакция, связанная с прямым распадом воды на ионы [3], это поднимает вопрос о движущей силе этой реакции распада:



Да, известно, что процесс образования ионной пары в жидкой фазе сопровождается процессами гидратации образовавшихся ионов окружающими молекулами воды, что в значительной мере снижает необходимую энергию до 0,6 эВ [4], однако и это значение является достаточно значительным для большинства крупномасштабных процессов, тем более что учёт этого механизма сопровождается необходимостью теоретического обоснования причин дегидратации вышеуказанных ионов в момент электрохимической реакции.

В последнее время появляется всё больше и больше информации о том, что одной из основных причин распада нейтральной молекулы воды могут являться электростатические поля высокой напряжённости, образующиеся в малых областях приэлектродного пространства за счёт локализации поля примесных ионов (от растворённого в воде электролита) и полей зеркальных зарядов (рисунок 1) [5,6].

На рисунке 1: 1 – металл электрода, 2 – «зеркальный» заряд, 3 – гидратационная оболочка иона, 4 – ион. Стрелками показано электрическое поле.

Однако, проведённые эксперименты были осуществлены в масштабах межэлектродного пространства порядка единиц-десятков нанометров, что делает невозможным нивелирование вклада квантовых явлений в процесс электролиза и от того не может являться существенным доказательством, подтверждающим превалирующую роль описанного механизма в протекании электролиза.

Для того, что подтвердить предположения был поставлен эксперимент, проведённый по схеме, представленной на рисунке 2.

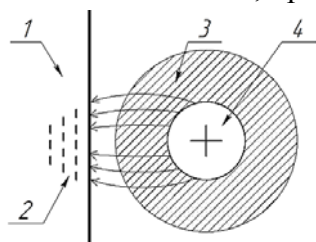


Рисунок 1 – Появления к объяснению образования локализованных полей высокой напряжённости

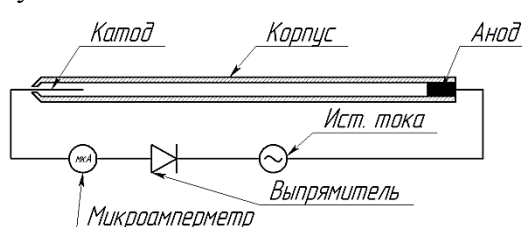


Рисунок 2 – Принципиальная схема эксперимента

В качестве источника тока использовался испытательный трансформатор с максимальным выходным напряжением в 70 кВ и полным внутренним сопротивлением (при 50 Гц) равным 7 МОм. В качестве корпуса испытательного устройства использовалась мерная пипетка объёмом 2 мл, изготовленная из кварцевого стекла. В качестве электродов использовалась серебряная проволока (ХЧ) толщиной 0,007 мм в качестве катода и толщиной 1 мм в качестве анода. Значение силы тока фиксировались микроамперметром класса точности 1,5 с диапазоном измерения 0-200 мкА. Для эксперимента использовалась дистиллированная вода с измеренной проводимостью в 2,2 мкСм/см.

Эксперимент проводился следующим образом. С помощью лабораторного автотрансформатора на электроды подавалось изменяемое электрическое напряжение.

Для каждого нового напряжения фиксировалось значение силы тока, протекающего через систему.

Плотность тока через анод рассчитывалась по формуле:

$$I_s = \frac{I}{2\pi r l}$$

Где  $I$  – сила тока, зафиксированная микроамперметром,  $r$  – радиус проволоки анода,  $l$  – длина её погруженной в воду части (для описываемого эксперимента – 1 см). м<sup>2</sup>

Напряжённость электрического поля вблизи катода рассчитывалась по упрощённой формуле:

$$E = \frac{U}{r}$$

Где  $U$  – поданное на электроды напряжение,  $r$  – радиус проволоки катода.

Результаты экспериментов представлены в виде графика зависимости плотности тока от напряжённости электрического поля.

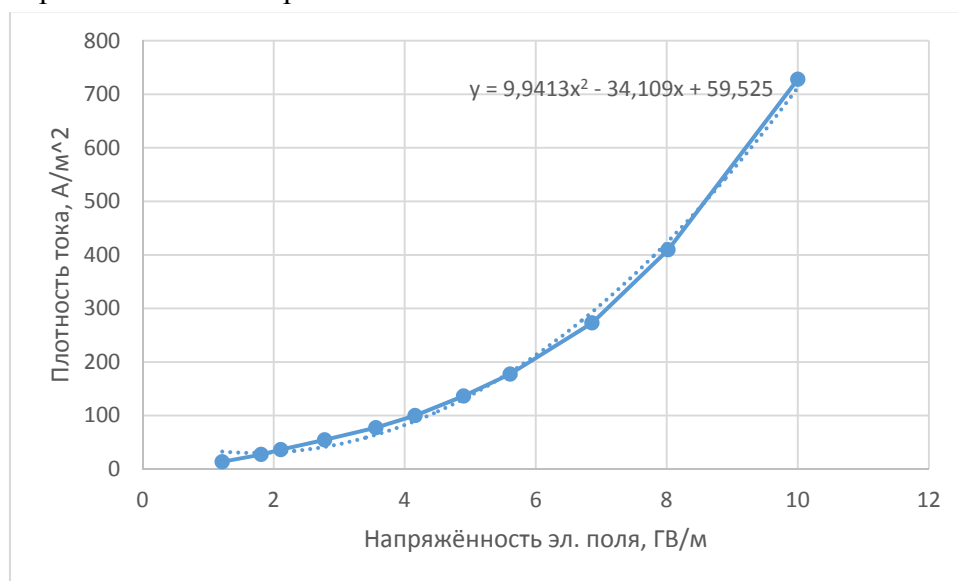


Рисунок 3 – Зависимость плотности тока от напряжённости поля

### Заключение

Как видно из графика зависимости плотности тока от напряжённости электрического поля, она сильно отличается от ожидаемой прямолинейной (т.к. в общем случае скорость движения ионов прямо пропорциональна значению напряжённости электрического поля), что может указывать на наличие механизма генерации новых ионов, помимо уже присутствующих в воде, что может служить косвенным подтверждением выдвинутой гипотезе о разрыве внутримолекулярных связей молекулы воды с учётом влияния внешнего поля.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пухов, А. А. О физических ограничениях, обеспечивающих невозможность эффективного прямого преобразования энергии солнечного света в запасённую химическую энергию гремучего газа / А. А. Пухов, М. С. Гринкруг, Н. А. Новгородов // 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 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 66-69.

2. Энергии разрыва химических связей [Текст] : Потенциалы ионизации и сродство к электрону / [Отв. ред. акад. В. Н. Кондратьев] ; АН СССР. Ин-т хим. физики. Ин-т высоких температур. - Москва : Наука, 1974. - 351 с.

3. Антропов, Л.И. Теоретическая электрохимия [Текст] : [Учебник для хим.-технол. специальностей вузов]. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высш. школа, 1975. - 568 с.
4. Якименко, Л. М. Электролиз воды / Л. М. Якименко, И. Д. Модылевская, З. А. Ткачек ; под ред. д-ра техн. наук, проф. Л. М. Якименко. - Москва : Химия, 1970. - 263 с.
5. Stuve, E. M. Ionization of water in interfacial electric fields: An electrochemical view / E. M. Stuve // Chemical Physics Letters. – 2012. – Vol. 519-520. – P. 1-17. – DOI 10.1016/j.cplett.2011.09.040.
6. Wang, Yifei "Field-Assisted Splitting of Pure Water Based on Deep-Sub-Debye-Length Nanogap Electrochemical Cells". ACS Nano. 11 (8): 8421—8428 DOI:10.1021/acsnano.7b04038.

УДК 66.086.2

Пухов Алексей Александрович, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Puhov Alexey Alexandrovich, graduate student of Komsomolsk-na-Amure State University

### **К ВОПРОСУ О ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМАХ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИЙ ЭЛЕКТРОЛИЗА НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ**

### **ON THE QUESTION OF THE ACTUAL MECHANISMS OF ELECTROLYSIS REACTIONS ON THE EXAMPLE OF ELECTROLYTIC DECOMPOSITION OF WATER**

Аннотация. В данной статье рассмотрен вопрос действительных процессов, протекающих в реакциях электролиза на примере реакций электролитического разложения воды на газообразные водород и кислород. На основе рассмотрения имеющейся литературы и обобщённых экспериментальных данных показано, что одним из возможных механизмов, определяющих протекание реакций электролиза, является реакция разложения нейтральных молекул воды на ионы в электрическом поле высокой напряжённости по тепловому механизму, где указанное электрическое поле создаётся в области первой гидратационной оболочки ионов электролита, что необходимо учитывать при проектировке электрохимических систем.

Abstract. This article examines the issue of actual processes occurring in electrolysis reactions using as the example reactions of electrolytic decomposition of water into gaseous hydrogen and oxygen. Based on the review of the available literature and generalized experimental data, it is shown that one of the possible mechanisms determining the course of electrolysis reactions is the decomposition reactions of neutral water molecules into ions in a high-intensity electric field by a thermal mechanism, where the specified electric field is created in the region of the first hydration shell of electrolyte ions, which must be taken into account when design of electrochemical systems.

Ключевые слова: электролиз, электрохимические системы, электролитическое разложение воды.

Key words: electrolysis, electrochemical systems, electrolytic decomposition of water.

#### **Введение**

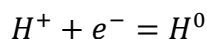
Физико-химические процессы, протекающие в химических системах под действием электрического тока, стали неотъемлемой частью современной деятельности человеческого общества. Электролиз, выступая своеобразным мостом между методами химическими и методами физическими, нашёл широчайшее применение во многих областях науки и техники, начиная от известного с давних времён электролитического разложения воды, использующегося и поныне в производстве водорода, электролитического осаждения металлов и заканчивая методами получения новых химических соединений, электросинтезом [1].

Широкое распространение электролиза обусловило масштабность исследований процессов, происходящих при нём. При этом, пожалуй, одним из наиболее изучаемых явлений, в виду своей сравнительной простоты, стала реакция разложения воды на газообразные кислород и водород под действием электрического тока. Тем не менее, детальные уравнения процессов, составляющих основу электролитического разложения воды, всё ещё остаются в значительной мере неисследованными и местами опираются на значительные допущения, что обуславливает необходимость дальнейшего

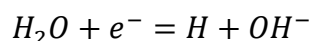
#### Основная часть

На данный момент в устоявшемся научном знании превалирует объяснение процесса протекания электролиза воды на основе следующих вариантов уравнений полуреакций, соответствующих различным по кислотностям типам сред [2, 3].

Для кислой среды:



Для щелочной среды:



Однако, как было показано ранее [4], множество возможных промежуточных реакций, опосредствующие вышеуказанные, определяется значительными энергиями, потребными для их осуществления, которые однако, не могут быть получены в рамках традиционного подхода к описанию электрохимических процессов при электролизе. В особенности это касается реакции разложения воды в щелочной среде, согласно которым первичным агентом взаимодействия с электродом выступает нейтральная молекула воды.

Из многочисленных экспериментальных данных [5] известно, что энергия, необходимая для разрыва связи  $H - OH$  составляет единицы эВ, что является крайне значительными величинами в условиях довольно плотной жидкой фазы среды проведения реакции (малая длина свободного пробега). Невозможность таких реакций косвенно подтверждается и тем, что электролитическое разложение воды практически неосуществимо в условиях отсутствия электролита даже при очень высоких напряжениях, подаваемых на электроды.

Таким образом наличие электролита каким-то образом является определяющим фактором в протекании реакций электролитического разложения воды. При этом, очевидно, что поскольку в указанных выше реакциях продуктами взаимодействия нейтральной молекулы воды с электродом являются ионы, которые могут выступать в качестве единиц, обеспечивающих ненулевую проводимость среды электролиза, то отсутствие в чистой воде свободных ионов на момент начала проведения электролиза не может быть фактором, определяющим отсутствия процесса по причине невозможности протекания электрического тока.

До недавнего времени эта проблема оставалась без теоретического объяснения, поскольку имеющиеся наборы данных по влиянию разных по химическому составу электролитов на процесс электролитического разложения воды, обладая значительной внешней стохастичностью (из-за влияния целой плеяды созависимых факторов, например, приэлектродных процессов), не позволяли вывести какую-то явную зависимость.

Одним из возможных объяснений, почему казалось бы невозможная с энергетической точки зрения реакция всё-таки происходит, было то, что при наличии электрического поля высочайшей напряжённости (десятые доли-единицы В/Å) энергия связи  $H - OH$  из-за её полярности может снижаться до такой величины, при которой естественные энергетические флуктуации среды электролиза (распределение молекул по энергиям) могут обеспечивать устойчивую генерацию свободных ионов  $H^+$  и  $OH^-$  в достаточных для протекания наблюдаемых плотностей тока. При этом, данные напряжённости электрического поля могут существовать в первом слое гидратационной оболочки ионов электролита, которые, вступая в соприкосновение с электродом электролитической системы (с возможным увеличением напряжённости поля при этом из-за образования зеркального заряда под поверхностью электрода)

обеспечивают физический контакт зоны образования свободных ионов  $H^+$  и  $OH^-$  с электродной поверхностью для их разрядки.

С работой [6], в которой было осуществлено экспериментальное наблюдение протекания процесса электролитического разложения воды на разнесённых на крайне малое расстояние (нанометры) электродах при отсутствии электролита было найдено подтверждение тому, что высокие напряжённости электрического поля вблизи зон протекания электрохимических реакций является определяющим фактором, без которого процесс протекания электролиза является невозможным.

В работе [7] было показано, что необходимые напряжённости электрического поля могут достигаться в том числе и в среде электролита, что подтвердило гипотезу о роли электролита как источника поля для генерации электролитически активных ионов по тепловому механизму.

С помощью указанного механизма образования ионов можно дать обоснование множеству наблюдаемых при электролизе растворов электролитов явлений. Так, например, восстановление металлов из их солей может иметь промежуточную фазу в виде образования радикала водорода в ходе приэлектродного процесса, который, реагируя с ионом металла (который своим электрическим полем определил условия для самого образования этого радикала) даёт нейтральный атом металла, впоследствии осаждающийся на поверхности электрода. Возникновение перенапряжения на электродах может быть объяснено тем, что для возникновения необходимой для термического разложения воды напряжённости поля требуется, в зависимости от химического состава электролита, некоторая минимальная концентрация ионов электролита, что в свою очередь приводит к необходимости подачи большего потенциала на электроды для противодействия взаимному отталкиванию одноименно заряженных ионов в приэлектродном пространстве. Однако, данные предположения требуют тщательной экспериментальной проверки, поскольку вклад побочных процессов может оказаться слишком существенным для однозначной интерпретации имеющихся данных.

### **Заключение**

Имеющиеся экспериментальные и теоретические данные указывают, на то, что процесс электролитического разложения воды на газообразные водород и кислород осуществляется за счёт генерации ионов  $H^+$  и  $OH^-$  по механизму теплового разложения нейтральных молекул воды, где требуемая для этого энергия оказывается значительно уменьшена из-за наличия значительной по величине напряжённости электрического поля в зоне реакции. Последнее, согласно новейшим теоретическим работам, может создаваться в зоне первичной сольватной оболочки имеющихся в растворе ионов электролита, что и определяет роль электролита в электрохимических системах, делая возможным их дальнейшую модернизацию и исследование по причине возможности создания необходимых для электролиза условий отличными от применения электролита способами.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Введенский, А. В. Современная теоретическая и прикладная электрохимия. Кинетика электрохимических процессов : учебное пособие / А. В. Введенский. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2017. – 150 с. – ISBN 978-5-4446-0985-9.
2. Антропов, Л.И. Теоретическая электрохимия [Текст] : [Учебник для хим.-технол. специальностей вузов]. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высш. школа, 1975. - 568 с.
3. Феттер, К. Электрохимическая кинетика [Текст] : Пер. с нем. яз. с доп. автора для рус. изд. / Под ред. чл.-кор. АН СССР проф. Я. М. Колотыркина. - Москва : Химия, 1967. - 856 с.

4. Пухов, А. А. О физических ограничениях, обеспечивающих невозможность эффективного прямого преобразования энергии солнечного света в запасённую химическую энергию гремучего газа / А. А. Пухов, М. С. Гринкруг, Н. А. Новгородов // 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 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 66-69.

5. Энергии разрыва химических связей [Текст] : Потенциалы ионизации и сродство к электрону / [Отв. ред. акад. В. Н. Кондратьев] ; АН СССР. Ин-т хим. физики. Ин-т высоких температур. - Москва : Наука, 1974. - 351 с.

6. Wang, Yifei "Field-Assisted Splitting of Pure Water Based on Deep-Sub-Debye-Length Nanogap Electrochemical Cells". ACS Nano. 11 (8): 8421—8428 DOI:10.1021/acsnano.7b04038.

7. Stuve, E. M. Ionization of water in interfacial electric fields: An electrochemical view / E. M. Stuve // Chemical Physics Letters. – 2012. – Vol. 519-520. – P. 1-17. – DOI 10.1016/j.cplett.2011.09.040.

УДК 621.314.21

Семенько Дмитрий Максимович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Semenko Dmitry Maksimovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Новгородов Никита Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Novgorodov Nikita Alexandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Thermal Power Plants Department, Komsomolsk-na-Amure State University

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОНИЖАЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА ОТ НАГРУЗКИ**

### **RESEARCH MODEL DEVELOPMENT FOR THE DISCONNECTING PROCESS OF A STEP-DOWN TRANSFORMER FROM THE LOAD**

Аннотация. В статье разработана схема и её компонентная база для осуществления моделирования процесса отключения понижающего трансформатора в составе трансформаторной подстанции системы электроснабжения. Приведена подготовительная стадия выявления основных параметров, влияющих на уровень фазных перенапряжений в ходе переходного процесса отключения трансформатора.

Abstract. The article develops a scheme and its component base for modeling the process of switching off a step-down transformer as part of a transformer substation of an electrical supply system. A preparatory stage has been carried out to identify the main parameters affecting the level of phase overvoltages during the transient transformer shutdown process.

Ключевые слова: понижающий трансформатор, переходный процесс отключения, нагрузка, перенапряжения.

Key words: step-down transformer, transient shutdown process, load, overvoltages.

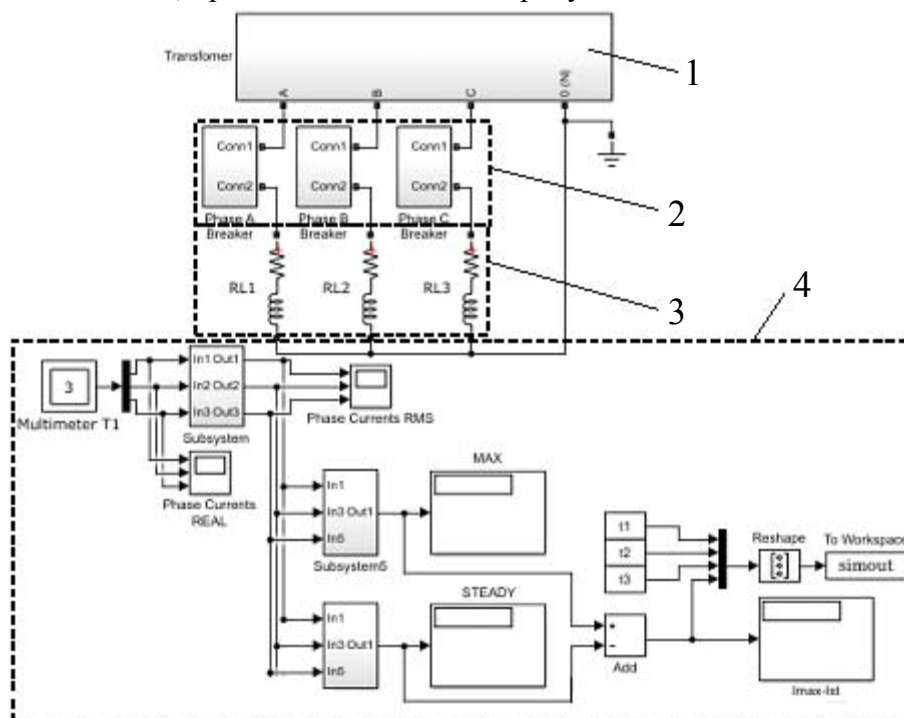
#### **Введение**

Понижающие трансформаторы разной мощности, напряжения, соединения обмоток и т.д. являются основными элементами централизованных систем электроснабжения. Надежность и безаварийность работы данных электротехнических устройств имеет большое значение для всех сферы электроэнергетики. Во время работы силового трансформатора основные проблемы, снижающие срок службы, могут

возникать в результате короткого замыкания или при перегрузке, но их можно предотвратить или предусмотреть [1]. В то время как коммутация нагрузки к понижающему трансформатору может привести к менее явным, но постоянным и длительным последствиям, заключающимся в непрерывном снижении срока службы и надежности работы трансформатора. На негативные процессы, сопровождающие коммутацию нагрузок к понижающему трансформатору влияет множество различных параметров, таких как: мощность трансформатора, коэффициент его загрузки, уровень несимметрии токов и напряжений нагрузки, коэффициент мощности и время отключения нагрузки от каждой фазы [2]. Поэтому актуальным является исследование влияния перечисленных параметров трансформатора и нагрузки на коммутационные процессы [6, 7, 8]. В данной работе исследуется переходный процесс отключения нагрузки выключателями, а именно возникновение перенапряжений в фазах вторичных обмоток понижающего трансформатора. Такие перенапряжения могут в несколько раз превышать фазные напряжения номинальных режимов работы и приводят к ухудшению или повреждению изоляции элементов трансформатора [3]. По причине сложности, а зачастую и невозможности проведения экспериментов с реальными силовыми трансформаторами систем электроснабжения, целесообразно проводить исследования на приближенных к реальным математическим моделям среды программирования Matlab, с использованием блочных схем модуля Simulink.

### Основная часть

Для проведения исследований по влиянию параметров трансформатора и нагрузки на перенапряжения в фазах его вторичных обмоток была разработана математическая модель, представленная схемой рисунка 1.



1 – блок понижающего трансформатора; 2 – блоки коммутаторов нагрузки; 3 – блоки фазных нагрузок; 4 – блоки измерения параметров

Рисунок 1 – Схема модели исследования в Simulink Matlab

Схема работает следующим образом. При однократном запуске расчета автоматически определяются действительные и среднеквадратические значения фазного напряжения и сразу же выводятся на блоки осциллографов MAX и STEADY [4]. Затем эти значения вычитаются в блоке Add для определения уровня перенапряжения  $\Delta U$  по каждой фазе понижающего трансформатора, значение которого также попадает на осциллограф для визуализации. Для удобства дальнейшего анализа

данных сигналы времени отключения фазных выключателей  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  и уровней перенапряжений  $\Delta U$  по фазам формируются в массив в файле Excel с использованием блоков Reshape и Simout [5]. Для автоматизации процесса расчета, его масштабирования и для оценки влияния всех перечисленных ранее параметров на уровень перенапряжений фаз, все характеристики понижающего трансформатора и нагрузок были заданы в модели в виде переменных. Затем были созданы программы автоматического перебора значений параметров, влияющих на уровень перенапряжений для нескольких значений мощности трансформатора в m-файлах пакета Matlab [9, 10]. Один из примеров такой программы показан на рисунке 2.

```

Parameters_cosf08_b100_OFF.m...
Файл Правка Формат Вид Справка
clc;clear;close all

Pa=106667; Pb=106667; Pc=106667;
Qa=80000; Qb=80000; Qc=80000;

t1=0.1015;t2=0.1;t3=0.1;

%i=0; j=0; name=[];

%for i=0.1:0.001:0.11;
    %t2=i;
    %for j=0.1:0.001:0.11;
        %t3=j;
    sim('HopeLoadsOFF_IdealSwitch.mdl')
    %name=[name, simout];
    %end
%end

```

Рисунок 2 – Программа запуска расчета модели при номинальной мощности трансформатора 400 кВА, симметричном нагружении и переборе различных комбинаций времени отключения выключателей нагрузки

### Заключение

В результате многочисленных исследований на разработанной блочной схеме модели однострансформаторной понижающей электроподстанции, была доказана работоспособность модели, поскольку вид кривых действительных значений фазных напряжений, полученных с осциллографов соответствует теоретическим графикам [1]. Был подтвержден правильный выбор параметров, влияющих на величину фазных перенапряжений, т.к. изменение мощности трансформатора, его загрузки, коэффициентов несимметрии напряжений и мощности нагрузки, а также времени отключения выключателей нагрузки, вызывало изменение в уровне фазных перенапряжений. Конкретные данные и анализ влияния перечисленных параметров на уровень перенапряжений будет рассмотрен в других работах.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Петров, Г.Н. Электрические машины. ч.1 Трансформаторы / Г.Н. Петров. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.
2. Шевцов, Д.Е. Модели и методы управляемой коммутации в электрических сетях 6(10) кВ систем электроснабжения. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. н., Новосибирск, 2017. – 151 с.
3. Кадомская, К.П. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: учебник / К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров, А.А. Рейхердт. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 319 с.
4. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с., ил.
5. SimPowerSystems for use with Simulink // The MathWorks, Inc, 2003. – 620 p.



6. Кобылицкий А.Н., Игнатенко И.В., Власенко С.А., Пухова А.И., Казакул А.А. Эффективность использования автоматизированного расчёта аварийно допустимых токов в линиях электропередачи / А.Н. Кобылицкий, И.В. Игнатенко, С.А. Власенко, А.И. Пухова, А.А. Казакул // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. – № 3 (59). – С. 21-26.

7. Климах В.С., Табаров Б.Д. Разработка конденсаторных установок и способа регулирования реактивной мощности в системах промышленного электроснабжения / В.С. Климах, Б.Д. Табаров // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. – № 1 (57). – С. 7-14.

8. Иванов С.Н., Ким К.К., Просолович А.А., Хисматулин М.И. Анализ электромеханических систем методами имитационного моделирования / С.Н. Иванов, К.К. Ким, А.А. Просолович, М.И. Хисматулин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2021. – № 3 (51). – С. 29-38.

9. Марченко Н.М. Расчёт параметров модели и моделирование трёхфазных трансформаторов в MATLAB / Н.М. Марченко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2020. – № 5 (45). – С. 53-63.

10. Марченко Н.М. Моделирование компенсатора реактивной мощности в пакете MATLAB / Н.М. Марченко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. – № 1 (57). – С. 24-34.

УДК 53.087

Вильдяйкин Геннадий Фёдорович, кандидат технических наук, профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный университет.

Vildyaykin Gennady Fedorovich, candidate of technical sciences, professor, Komsomolsk-na-Amure State University

Тихоновецкий Дмитрий Викторович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет.

Tikhonovetskiy Dmitriy Victorovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ В НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

### **SHIELDING EFFICIENCY IN THE LOW-FREQUENCY RANGE OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD**

Аннотация. В данной статье исследуется эффективность экранирования электромагнитных полей (ЭМП) в низкочастотном диапазоне. Целью работы является анализ потерь при отражении и поглощении электромагнитной энергии стальными экранами различной толщины на частотах до 1000 кГц. Исследование позволяет оценить эффективность экранирования и предоставляет данные для создания помещений защищенных от помех систем и оборудования. Представлены результаты расчетов и графики.

Abstract. This article investigates the efficiency of shielding electromagnetic fields (EMF) in the low-frequency range. The aim of the work is to analyze the losses during reflection and absorption of electromagnetic energy by steel shields of various thicknesses at frequencies up to 1000 kHz. The study evaluates the effectiveness of shielding and provides data for the creation of rooms that are protected from interference, systems and equipment. The results of calculations and graphs are presented.

Ключевые слова: экранирование, техническая защита, электромагнитные поля.

Keywords: shielding, technical protection, electromagnetic fields.

## Введение

К области и объектам технической защиты информации, связанной с экранированием в низкочастотном диапазоне, относится проверка акустоэлектрического преобразования, технические средства, используемые для обработки и хранения информации, экранированные помещения (ЭП) для испытания техники, экранирование кабеля, экранирование узлов и блоков и другое.

Из методов решения экранирования будем использовать более общий волновой метод. В литературе [1]-[5] как правило, приводятся результаты для частотных диапазонов выше 1 МГц и для дальней зоны действия электромагнитных излучений (ЭМИ). Результаты исследований ЭП и методики проверок их эффективности в частотном диапазоне (1-1000) кГц в литературе практически отсутствуют.

Будем рассматривать ЭП, изготовленные из магнитного материала (сталь) как наиболее прочного и часто используемого на предприятиях. Конструктивно стены, пол, потолок ЭП представляют плоский проводящий экран, толщиной  $t$ . В статье приводятся результаты исследования экранирования, когда излучение создаётся внутри ЭП, в этом случае имеем дело только с ЭМП в ближней зоне излучения для частот (1-1000) кГц.

**Из общей теории ЭМ экранирования** для количественной оценки экранирования вводятся коэффициент экранирования электрического и магнитного полей  $S_E = E_2/E_1$ ,  $S_M = H_2/H_1$ . Индекс 1 – область, точка, если бы экран отсутствовал. Индекс 2 – точка экранированной области. А также  $A_{дб} = 20 \lg(1/S) = P_{пот.}$  – экранное затухание или потери электромагнитной энергии. Эти общие потери электромагнитной энергии  $P_{общ.}$  в конечном счете, характеризует качество экрана, его эффективность, которую можно выразить так:

$$P_{общ.} = P_{отр.} + P_{погл.} + P_{мн.отр.}, \quad (1)$$

где  $P_{отр.}$  потери на отражение,  $P_{погл.}$  потери на поглощение,  $P_{мн.отр.}$  потери при многократном отражении в толще экрана. Значением  $P_{мн.отр.}$  можно пренебречь, так как в основном потери определяются отражениями от границ и поглощением в металле экрана. Точной теории расчёта отражения ЭМП поля от стального экрана в ближней зоне на низких частотах нет. Поэтому в дальнейшем будут определены потери, при отражении, поглощении и суммарную эффективность экранирования по литературным данным, а затем по результатам натурных измерений будет получена закономерность затухания ЭМП для рассматриваемого случая.

### Расчёт потерь при отражении для плоских экранов

Потери  $P_{отр.}$  при отражении от металла зависят от волнового сопротивления сред диэлектрика и металла ( $Z_d, Z_M$ ), которые выражаются через отношения напряженностей электрической  $E$  и магнитной  $H$  составляющих полей  $Z = E/H$ . и в соответствии с [3] определяются выражением:

$$P_{отр.} = \lg \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{Z_d}{Z_M} + \frac{Z_M}{Z_d} \right) thkt \right], \quad (2)$$

где:  $k$  – коэффициент вихревых токов;  $t$  – толщина металла.

Экранирующее действие (потери) при отражении определяется в основном несоответствием волновых сопротивлений диэлектрика  $Z_d$  и металла  $Z_M$  из которого изготовлен экран. Поглощение на отражение  $P_{отр.}$  с изменениями  $k$  и  $t$  по закону  $thkt$  изменяются волнообразно [3].

Рассмотрим **потери на отражение**  $P_{отр.}$  на первой границе раздела, которые выражаются через отношения волновых сопротивлений  $Z_{вол}$  в соответствии с [4],[5]. Для нашего случая исследуется экранирование в низкочастотном диапазоне, что соответствует ближней зоны (БЗ) источника излучения ( $r < \lambda/2\pi$ ). Здесь  $r$  – расстояние от излучателя до экрана,  $\lambda$  – длина волны.

### Потери на отражение [4] в электрическом поле (ЭП) БЗ:

$P_{отр.} = 20 \lg (|Z_{в|эл} / 4|Z_0|) = 20 \lg (1 / 4\omega\epsilon |Z_0|) = 20 \lg (1 / 4\omega\epsilon \sqrt{\omega \mu_r / \sigma_r})$   
 $|Z_{в|эл} = 1/\omega\epsilon$  – модуль волнового сопротивления источника ЭП в БЗ.  
 $|Z_0| = \sqrt{\omega \mu_r / \sigma_r}$  – полное сопротивление экрана.

### Потери на отражение магнитного поля (МП) БЗ:

$$P_{\text{отр}} = 20 \lg (|Z_{\text{в|мп}} / 4|Z_{\text{э}}|), \quad P_{\text{отр}} = 20 \lg \left( \frac{\omega \mu_r r}{4|Z_{\text{э}}|} \right), \quad \text{где}$$

$$|Z_{\text{в|мп}} = \omega \mu_r r \text{ - волновое сопротивление источника МП в БЗ.}$$

$$|Z_{\text{э}}| = \sqrt{\omega \mu_r / \sigma_r} \text{ - полное сопротивление экрана.}$$

Были проведены расчёты  $P_{\text{отр}}$  при следующих исходных данных: Материал экрана: сталь 3, толщина  $t$  равная 0,1мм, 1мм, 2мм, 3мм. Относительная магнитная проницаемость  $\mu_r=100$ . Относительная удельная проводимость относительно меди  $\sigma_r=0,12$ . Частотный диапазон (0,1- 1000) кГц. Результаты расчётов представлены таблицей 1

Таблица 1

F, кГц	1	10	100	1000
$P_{\text{отр МП, дБ}}$	18,8	16,76	1,2	-11,2
$P_{\text{отр ЭП, дБ}}$	-65	-35	-5 дБ	16,8

Как видно из результатов расчетов значение  $P_{\text{отр}}$  не очень корректны. Отрицательные значения указывают на то, что формулы, приведенные в [1]- [5] для расчета экранирования рассматривают расстояние  $r$  малой величины (см, мм) и применяются для экранирования кабеля, малых экранов, и разных конфигураций экранов. Оценочные расчеты значение  $P_{\text{отр}}$  по формуле (2) также показали не корректные результаты. Реальные результаты дадут экспериментальные исследования, которые будут проведены.

### Расчёт потерь при поглощении для плоских экранов

Исходные данные для расчёта  $P_{\text{пог}}$  в соответствии с поставленной задачей те же что при расчете  $P_{\text{отр}}$ . Частотный диапазон (0,2- 1000) кГц.

Потери на поглощение вызваны тепловыми потерями на вихревые токи в металле. Рассчитаем  $P_{\text{погл}}$  по формуле [1]:

$$P_{\text{погл}} = 131,4 * t * \sqrt{f * \mu_r * \sigma_r},$$

где  $t$  – толщина стенки экрана, мм.  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость,  $f$  – частота, МГц,  $\sigma_r$  – относительная удельная проводимость относительно меди.

Результаты расчета потерь поглощения ЭМП плоским стальным экраном (стена ЭП) приведены на рисунке 1. Как видно из графиков высокую эффективность экранирования можно получить на частотах выше 10 кГц и для стали толщиной 2-3 мм.

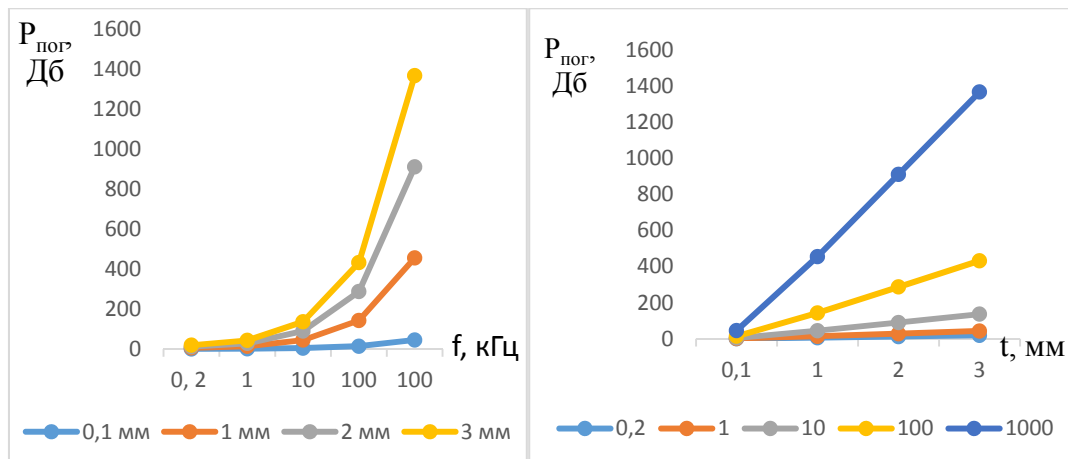


Рисунок1 – Графики  $P_{\text{п}}=F(f)$ ,  $P_{\text{п}}=F(t)$

### Заключение

С целью изучения эффективности экранирования ЭП в низкочастотном диапазоне частот, было выполнено исследование потерь на поглощение и отражение стального экрана. Исследование проводилось на частотах (1-1000) кГц для стального экрана разной толщины от 0,1 мм до 3 мм. Были рассчитаны потери на отражение и поглощение в зависимости от частоты и толщины экрана в ближнем поле излучателя.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Демский Д. В. Метод расчёта эффективности экранирования для неоднородных электромагнитных. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2014. – 114 с.
2. Каден Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи. Перевод с немецкого. М. / Г. Каден. Государственное энергетическое издательство Москва, Ленинград 1957. – 327 с.
3. И. И. Гроднев, К. Я. Сергейчук. – Г Экранирование аппаратуры и кабелей связи/ осударственное издательство литературы по вопросам связи и радио. Москва, 1960. – 216
4. Кравченко В. И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи В. И. Кравченко, Е. А. Болотов, Н. И. Летунов; Под ред. В. И. Кравченко. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.
5. Дональд Р. Ж. Уайт Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи Выпуск 2. Перевод с английского. – М.: «Советское радио», 1978. – 464 с.

УДК 621.45.03

Ткачёва Нина Алексеевна, консультант отдела регулирования тарифов на электрическую, тепловую энергию и воду, Комитет по ценам и тарифам Правительства Хабаровского края  
Tkacheva Nina Alekseevna, Consultant of the Department for Regulation of Tariffs for Electric, Thermal Energy and Water, Committee on Prices and Tariffs of the Government of the Khabarovsk Territory

Ткачева Юлия Ильинична, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Julia Ilyinichna Tkacheva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Thermal Power Plants Department, Komsomolsk-na-Amure State University

## ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

### FEATURES OF POWER SUPPLY SYSTEMS IN THE FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT

Аннотация. В статье рассмотрена структура энергосистемы Дальневосточного федерального округа, обозначены объективные проблемы развития дальневосточной энергетики, рассмотрен механизм доведения тарифов на электрическую энергию до среднероссийского «базового» уровня.

Abstract. The article examines the structure of the energy system of the Far Eastern Federal District, identifies objective problems in the development of the Far Eastern energy sector, and considers the mechanism for bringing electricity tariffs to the average Russian “basic” level.

Ключевые слова: тарифы на электрическую энергию, система электроснабжения.

Keywords: energy tariffs, power supply system.

### Введение

Дальневосточный – один из восьми федеральных округов Российской Федерации (далее – ДФО), является самым большим по площади и занимает 40,6 % территории страны. ДФО включает в себя: четыре края - Забайкальский край, Камчатский край, Приморский край, Хабаровский край; три области: Магаданская область, Амурская область, Сахалинская область; две республики - Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия); Чукотский автономный округ и Еврейская автономная область.

Энергосистема ДФО отличается разрозненностью энергетических систем, которые можно представить в виде «островов» [1].

Только в пяти субъектах ДФО энергосистемы связаны линиями электропередачи: Амурской области, Приморском и Хабаровском краях, Республике Саха (Якутия) и Еврейской автономной области. Энергосистемы данных субъектов составляют объединенную энергетическую систему Востока, которая формально соединена с единой энергетической системой России, но фактически работает автономно и не синхронизирована с ней.

Энергосистемы двух субъектов – Забайкальского края и Республики Бурятия, фактически принадлежат объединенной энергетической системе Сибири, но территориально расположены в ДФО.

Энергосистемы четырех субъектов – Сахалинской и Магаданской областей, Чукотского автономного округа и Камчатского края, включают в свой состав электростанции и распределительные сети, работающие в автономных системах.

Энергоснабжение удаленных населенных пунктов перечисленных субъектов (Крайний Север и приравненные к нему территории) организуется с использованием автономных источников электро- и теплоснабжения (дизельных и прочих генераторов, котельных и т.д.), поскольку они распределены на больших неосвоенных территориях, до которых не проложены линии электропередачи Единой энергосистемы России [2]. В такие районы топливо доставляется из других регионов страны, в основном морским транспортом, с использованием маршрутов северного морского пути.

#### **Основная часть**

Дальневосточная энергетика практически не подвергалась масштабным преобразованиям в ходе общероссийской реформы и, в итоге, оказалась за рамками конкурентных зон оптового рынка. Причиной этого являлось наличие большого числа удаленных (в энергетическом и территориальном плане) энергорайонов.

Субъекты ДФО, исходя из способов регулирования энергетических рынков, подразделяются на неценовые зоны и технологически изолированные энергетические системы [3,4,5]. В технологически изолированных энергетических системах продажа электрической энергии ведется только в розницу по установленным органами тарифного регулирования субъекта Российской Федерации тарифам.

Поскольку в энергосистемах ДФО наблюдается недостаточный уровень развития инфраструктуры электросетей на значительных расстояниях, в удаленных районах электрическая энергия в основном вырабатывается с использованием дизельного топлива на дизельных электростанциях. Данный факт приводит к увеличению экономически обоснованных тарифов ряда регионов ДФО.

С 1 июля 2017 года в стране запущен механизм выравнивания тарифов на электрическую энергию ряда субъектов ДФО до среднероссийского "базового" уровня. Данный тариф для регионов ДФО определяется в соответствие со средневзвешенной ценой электроэнергии на розничных рынках остальных регионов Российской Федерации, но без учета изолированных районов. Исходя из этого, потребители платят за электрическую энергию по среднероссийскому, а не по экономически обоснованному тарифу. В связи с этим поставщики электрической энергии на соответствующих территориях получают компенсацию.

С 2022 года под механизм выравнивая тарифов на электрическую энергию попал и Хабаровский край. На территории края находится более 40 дизельных электростанций.

В 2023 году в изолированных районах на снижение отпускных тарифов до 7,39 руб./кВт·ч фактически было направлено больше 1,0 млрд. руб. субсидии. В таких районах экономически обоснованные тарифы (далее – ЭОТ) находятся в диапазоне от 10,56 руб./кВт·ч до 106,53 руб./кВт·ч, а максимальное снижение тарифа для одного из изолированных потребителей составило 99,14 руб./кВт·ч.

Наибольший эффект от внедрения механизма выравнивания тарифов получают потребители, расположенные на удаленных изолированных территориях. В случае отсутствия данного механизма они бы оплачивали электрическую энергию по ЭОТ.

### **Заключение**

Решение о внедрении механизма выравнивания тарифов и субсидировании на Дальнем Востоке направлено на решение проблемы износа оборудования, вызванные сдерживанием увеличения тарифов, а также снизить тарифную нагрузку на потребителей. Негативным аспектом является то, что субсидии в настоящее время направлены только на компенсацию выпадающих доходов и удовлетворение запросов предприятий в растущей необходимой валовой выручке.

Механизм выравнивания тарифов на электрическую энергию до среднероссийского уровня продлен до 2028 года. Основными задачами механизма являются:

- снижение потерь в электросетях;
- оптимизация удельных расходов топлива на выработку и отпуск электрической энергии;
- увеличение объёма применения альтернативных и возобновляемых источников энергии.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Васильченко С.А., Гринкруг М.С., Иванов А.П., Соловьев В.А., Суздорф В.И. Об эффективности систем электроснабжения поселкового типа. Дальневосточный ЭНЕРГОПОТРЕБИТЕЛЬ. № 5, 2007. -33-34 с.

2. Гринкруг М.С. Критерий для выбора параметров элементов автономных систем электроснабжения. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ». Электронный журнал ISSN 1817-6321. № 5, 2011 г.

3. Гордин С.А., Гринкруг М.С., Шипиленко А.С. К вопросу эффективности системы электроснабжения. «ЭЛЕКТРИКА» № 1. 2013. -11-15 с.

4. Эффективность использования автоматизированного расчёта аварийно допустимых токов в линиях электропередачи / А. Н. Кобылицкий, И. В. Игнатенко, С. А. Власенко [и др.] // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2022. – № 3(59). – С. 21-26. – DOI 10.17084/20764359-2022-59-21. – EDN BLFDQR.

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 JEKHFV.

УДК 621.311.21

Усынин Макар Валерьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Usynin Makar Valerievich, student of Komsomolsk-na-Amure State University

Гринкруг Мирон Соломонович, канд. техн. наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Grinkrug Miron Solomonovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

Ткачёва Нина Алексеевна, консультант отдела регулирования тарифов на электрическую, тепловую энергию и воду, комитета по ценам и тарифам Правительства Хабаровского края

Tkacheva Nina Alekseevna, Consultant of the Department for Regulation of Tariffs for Electric, Thermal Energy and Water, Committee on Prices and Tariffs of the Government of the Khabarovsk Territory

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОРСКИХ ВОЛН**

### **INVESTIGATION OF WIND SPEED INFLUENCE ON THE MAIN PARAMETERS OF SEA WAVES**

Аннотация. Одним из основных вопросов при выборе параметров электрогенераторов волновых электростанций являются ожидаемые средние параметры волн в районах размещения волновой электростанции. Эти параметры зависят в основном от скорости ветра в районе предполагаемого размещения волновой электростанции. Исходные данные по параметрам волн могут быть получены исходя из данных метеонаблюдений. В работе представлены зависимости средних параметров волн как функции скорости ветра вызывающего волнение моря. Эти данные могут быть использованы для оценки параметров волн при проектировании волновых электростанций.

Abstract. One of the main issues when choosing the parameters of wave power generators is the expected average wave parameters in the areas where the wave power plant is located. These parameters depend mainly on the wind speed in the area of the proposed location of the wave power plant. Initial data on wave parameters can be obtained based on meteorological observations. The paper presents the dependences of the average wave parameters as a function of the wind speed of the sea causing agitation. These data can be used to estimate wave parameters in the design of wave power plants.

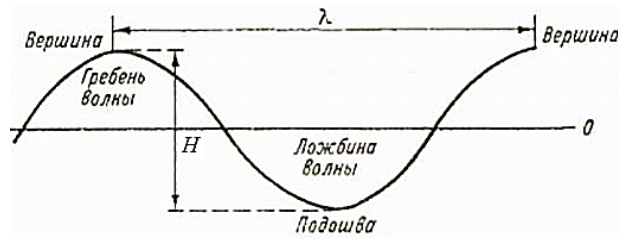
Ключевые слова: волны на поверхности моря, параметры и характеристики волн, волновая электростанция.

Key words: surface waves, wave parameters and characteristics, wave power station.

#### **Введение**

При проектировании волновых электростанций одной из важнейших задач является оценка параметров ожидаемого волнения в районе расположения волновой электростанции на этапе предварительного проектирования. Такая оценка может быть получена из метеоданных по силе и направлению ветра в предполагаемом районе строительства, так как ветер является источником волн моря и от его скорости зависят все основные параметры волнения моря.

Процессы волнообразования и основные характеристики волнения рассмотрены в работах [1, 2, 3]. Там же сделан вывод, что волнение моря в значительной степени является случайным процессом и следует описывать статистические величины параметров волнения. В дальнейшем в данной работе речь будет идти о средних характеристиках волнения моря в зависимости от силы ветра. Морскую волну принято изображать как показано на рисунке 1.



$\lambda$  – длина волны (м),  $H$  – высота волны (м)

Рисунок 1 – Схема морской волны

К основным известным параметрам волн относятся следующие величины:

1. Высота волны  $H$  (м) - расстояние от подошвы волны до точки максимума;
2. Длина волны  $\lambda$  (м) - наименьшее расстояние между горбами волны;
3. Скорость распространения волн  $v$  (м/с);
4. Частота волны  $\nu$  (Гц);
5. Период волны  $T$  (с);
6. Амплитуда волны  $A$  (м);
7. Волновое число  $k$  ( $\text{м}^{-1}$ ).

Между параметрами волн существуют следующие соотношения:

$$H = 2A, \quad \nu = \frac{1}{T}, \quad k = \frac{2\pi\nu}{v}, \quad \lambda = vT$$

На глубокой воде  $d \gg \lambda$ , где  $d$  - глубина моря (м), фазовая  $v_\phi$  и групповая  $v_{гр}$  скорости волны могут быть найдены из соотношений

$$v_\phi = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}, \quad \text{так как } v_{гр} = \frac{v_\phi}{2}.$$

На мелкой воде  $d \ll \lambda$ ,  $v_\phi = \sqrt{gd}$ ,  $v_{гр} = v_\phi$ .

Максимальная высота волны зависит от скорости ветра и определяется по следующей формуле  $H = \frac{Cv_\phi^2}{g}$ , где  $C=0,27$ .

Для мелкой воды период колебаний волны  $T = 9,78 \left(\frac{d}{g}\right)^{1/2}$ .

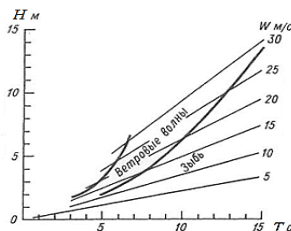
Длина волны  $\lambda = \frac{g^2 \tau - 2\pi v_\phi^2}{2\pi g}$ , где  $v$  - скорость распространения волны (м/с),  $T$  - период волны (с).

$$T = \frac{2\pi\lambda}{g} = \frac{2\pi v_\phi}{g}.$$

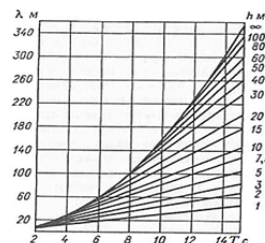
Средняя высота и длина волны могут быть определены по формулам

$$H = 0,45 W^{0,56} D^{0,54} \lambda, \quad \lambda = 0,31 W^{0,66} D^{0,64} A,$$

где  $W$  - скорость ветра (м/с),  $D$  – разгон волны,  $A = 1 + e^{-0,35 \frac{D}{W}}$ .



$W$  – скорость ветра (м/с),  $H$  – высота волны (м),  $T$ – период волны (с)  
Рисунок 2 – Номограмма для определения высоты и периода волны в зависимости от скорости ветра



$\lambda$  – длина волны (м),  $h$  – глубина моря (м),  $T$ – период волны (с)  
Рисунок 3 – Номограмма для определения длины волны в зависимости от глубины моря и периода волны



Период и длину волны можно рассчитать по данным о скорости ветра и высоте волны. Приближенный расчет периода волн может быть произведен по графику (рисунок 2), на котором представлена зависимость между периодами и высотой ветровых волн при различных скоростях ветра ( $W$ ).

Длина волн определяется по ее периоду и глубине моря в данной точке по графику (рисунок 3).

#### **Заключение**

В работе представлен способ определения параметров волн для расчета волновых генераторов на основе использования метеоданных района расположения волновой электростанции.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Мельникова О.Н., Показеев К.В. Генерация ветровых волн на чистой воде и при наличии нефтяной пленки / О.Н. Мельникова, К.В. Показеев // ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. № 1. – 2016. – 4 с.
2. Абузьяров З.К., Дуванин А.И. Морское волнение и его прогнозирование / З.К. Абузьяров, А.И. Дуванин // Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 162 с.
3. Титов Л.Ф. Ветровые волны / Л.Ф. Титов // Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. – 296 с.
4. Шулейкин В.В. Физика моря. Москва. Издательство «НАУКА», 1968. – 1090 с.

УДК 681.536.57

Усынин Макар Валерьевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Usynin Makar Valerievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Гордин Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Прикладная математика», Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Gordin Sergey Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Applied Mathematics Department, Komsomolsk-na-Amure State University

### **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РЕЗИНЫ**

### **AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL DURING THE MANUFACTURE OF RUBBER PRODUCTS**

Аннотация. Работа посвящена сравнению способов регулирования температуры в закрытой пресс-форме при производстве резинотехнических изделий. Приведены результаты применения дискретного (двухпозиционного) регулирования и ПИД-регулятора, реализованного на базе промышленного контроллера Siemens S7-1500. Выполнен сравнительный анализ эффективности дискретного и непрерывного управления вулканизацией резинотехнических изделий.

Abstract. The paper is devoted to the comparison of methods of temperature control in a closed mold in the production of rubber products. The results of application of discrete (two-position) regulation and PID-controller realized on the basis of industrial controller Siemens S7-1500 are given. A comparative analysis of the efficiency of discrete and continuous control of vulcanization of rubber products is carried out.

Ключевые слова: система управления, нагреватели, вулканизация

Key words: control system, heaters, vulcanization

## Введение

При производстве резинотехнических изделий (РТИ) нарушение технологических режимов вулканизации существенно сказывается на качестве и долговечности изделий. Недостаточный нагрев формованного изделия, как и его перегрев, оказывает негативное влияние на формирование макромолекул каучука [1].

При соблюдении технологического режима вулканизации достигаются наилучшее сочетания свойств РТИ: прочности на разрыв, устойчивости к старению, сопротивление истиранию, модуля упругости.

Наиболее распространенным способом вулканизации РТИ в промышленности является метод, реализуемый на прессовом оборудовании: вулканизация в закрытых формах под давлением с обогревом пресс-формы и выдержки в течении заданного времени [2].

## Дискретное управление

Нагрев элементов пресса (плит) и обогрев пресс-формы являются инерционными процессами с большим (до 60-ти секунд) запаздыванием [3]. Наиболее простым способом автоматического регулирования температуры является способ, основанный на применении двухпозиционных регуляторов с дискретными исполнительными устройствами [4]. Общая структурная схема двухпозиционной системы регулирования представлена на рисунке 1.

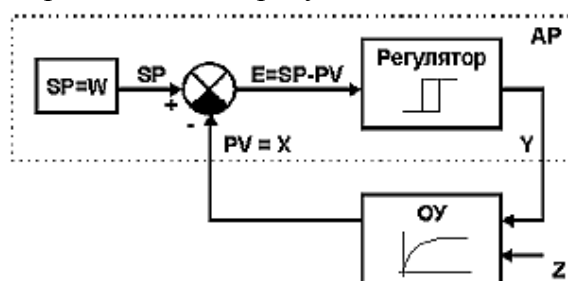


Рисунок 1 – Структурная схема двухпозиционной системы регулирования где: АР – двухпозиционный регулятор, ОУ – объект управления, SP – узел формирования заданной точки (задания), E – рассогласование регулятора, PV=X – регулируемая величина, Y – управляющее воздействие, Z – возмущающее воздействие.

При регулировании нагрева формованного изделия, выполняемого на гидравлическом прессе с обогревом пресс-формы посредством теплопередачи от двух нагревательных плит, двухпозиционной системой управления из-за инертности тепловых процессов возникают незатухающие автоколебания  $\pm 1^\circ\text{C}$ , представленные на рисунке 2.

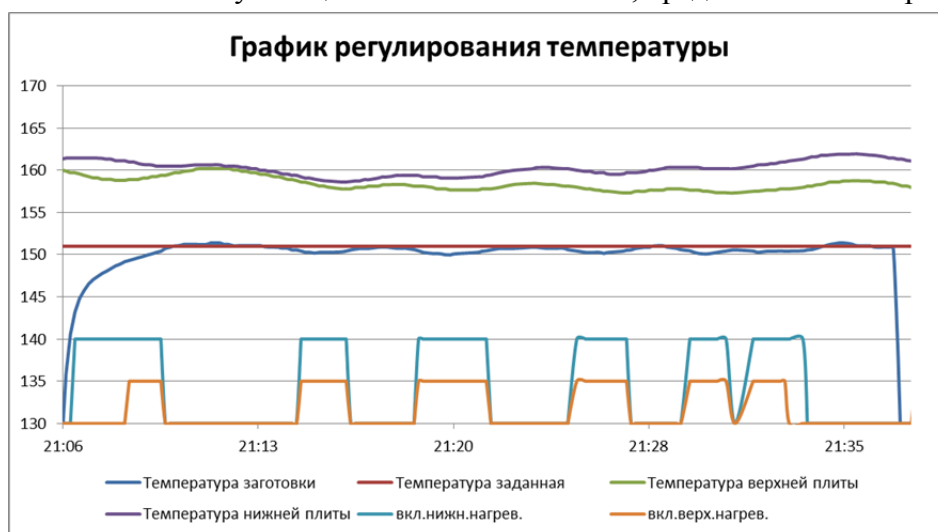


Рисунок 2 – График изменения температуры по схеме двухпозиционного регулирования

### Непрерывное управление

Для повышения качества регулирования и исключения автоколебаний может быть использовано управление на основе ПИД-регулятора [5]. Такая схема управления позволяет за счёт обратной связи формировать управляющий сигнал с целью достижения заданной точности регулирования.

При дискретном выходе ПИД-регулятора результат управления не будет принципиально отличаться от результатов дискретного двухпозиционного регулирования. Для реализации непрерывного управления нагревателями их мощность можно регулировать посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ) в диапазоне от 0%..100% [5].

Непрерывное управление на основе ПИД-регулятора с ШИМ регулированием мощности нагревателей было реализовано на базе промышленного контроллера Siemens S7-1500, а результат применения такого управления представлен на рисунке 3.

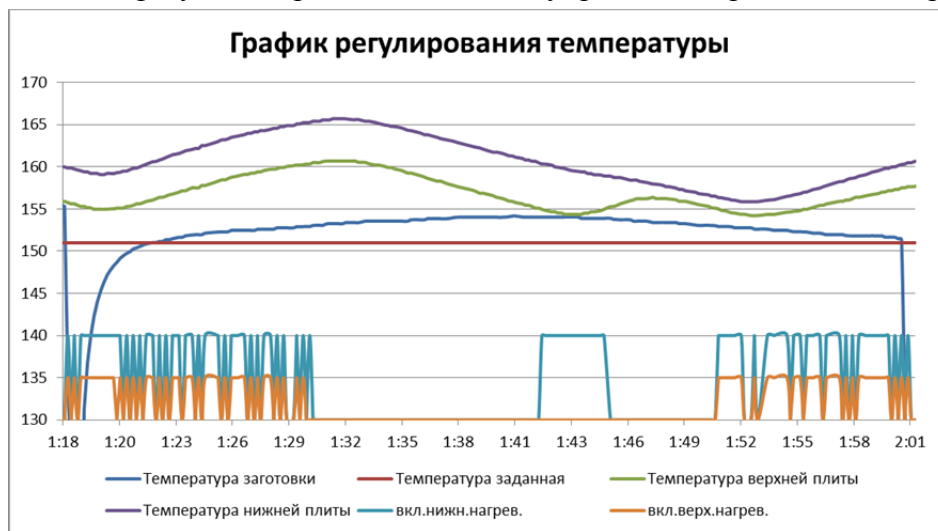


Рисунок 3 – График изменения температуры по схеме ПИД-регулирования

### Заключение

При производстве резинотехнических изделий с вулканизацией в закрытых пресс-формах промышленные контроллеры позволяют реализовывать как двухпозиционное, так и ПИД регулирование.

Сравнивая двухпозиционное и ПИД-регулирование, можно сказать, что ПИД-регулирование обеспечивает более точное и плавное регулирование, но требует более сложного оборудования, а значит, является более дорогим в реализации.

Эффективность ПИД-регулятора с постоянными параметрами регулирования зависит от стабильности объекта управления, что в реальных условиях производства трудно реализуемо, поскольку для выпуска широкой номенклатуры резинотехнических изделий применяются сильно отличающиеся между собой пресс-формы.

Для решения данной задачи могут использоваться как алгоритмы автоподстройки параметров ПИД-регулирования [6], так и различные интеллектуальные системы управления на базе программируемых логических контроллеров [7, 8].

Но в общем случае, ПИД-регуляторы являются достаточно эффективными инструментами для управления производством резинотехнических изделий путём вулканизации в закрытых формах под давлением с обогревом пресс-формы и выдержки в течении заданного времени.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Натуральный каучук, его источники и составные части / Б. Р. Кулуев, Р. Р. Гарафутдинов, И. В. Максимов [и др.] // Биомика. – 2015. – Т. 7, № 4. – С. 224-283. – EDN VKCJGL.

2. Глебов, А. О. Методика разработки нагревательных устройств с заданным температурным полем / А. О. Глебов, Е. Н. Малыгин, А. С. Серебряков // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 5. – С. 68-72. – EDN JXMKND.

3. Абросимов, В. А. Математическая модель системы рабочего процесса цеха / В. А. Абросимов, С. А. Гордин // 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 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 324-326. – EDN CWSVHA.

4. Основы автоматического регулирования. – Москва : МАШГИЗ, 1954. – 1118 с. – EDN YLAKWH.

5. Силаев, А. А. Автоматизированная система управления вулканизации резинотехнических изделий / А. А. Силаев, А. С. Фролова, А. С. Терентьев // Наукосфера. – 2020. – № 6. – С. 214-218. – EDN HCJZSR.

6. Меркулов, М. Д. ПИД-управление: современное представление / М. Д. Меркулов // Молодежная школа-семинар по проблемам управления в технических системах имени А.А. Вавилова. – 2021. – Т. 1. – С. 67-68. – EDN CUVYIN.

7. Гордин, С. А. Об интеллектуальной адаптации ПИД-регулирования в системах управления котлов малой мощности / С. А. Гордин, И. В. Зайченко // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2020. – № 3. – С. 95-99. – EDN CEQCFW.

8. Хрульков, В. Н. Особенности реализации нечётких алгоритмов управления на базе программируемых логических контроллеров / В. Н. Хрульков, С. П. Черный // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2022. – № 1(57). – С. 52-62. – DOI 10.17084/20764359-2022-57-52. – EDN OCPYLO.

УДК 621.314.21

Чепкасов Денис Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Chepkasov Denis Evgenievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Новгородов Никита Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Novgorodov Nikita Alexandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Thermal Power Plants Department, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОМЕНТА ОТКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗОК НА УРОВЕНЬ ФАЗНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ Понижающего ТРАНСФОРМАТОРА**

## **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE LOADS SWITCHING OFF MOMENT ON THE STEP-DOWN TRANSFORMER PHASE OVERVOLTAGE'S LEVEL**

Аннотация. В статье исследуется влияния комбинации момента отключения однофазных нагрузок от фаз понижающего трансформатора подстанции 6(10)/0,4 кВ на уровень фазных перенапряжений, за счет силовых выключателей нагрузки в заранее разработанной модели понижающей однострансформаторной подстанции, с помощью языка программирования Matlab и блоков модуля Simulink. Показаны статистические результаты

расчета модели, выявлен критерий приближенного выбора наиболее эффективного момента отключения нагрузок с целью минимизации уровня перенапряжений.

Abstract. The article examines the effect of the combination of the moment of disconnection of single-phase loads from the phases of the step-down transformer of the substation 6(10)/0.4 kV on the level of phase overvoltages, due to power load switches in a pre-developed model of a step-down transformer substation, using the Matlab programming language and Simulink module blocks. The statistical results of the model calculation are shown, the criterion of approximate selection of the most effective moment of switching off loads in order to minimize the level of overvoltage is revealed.

Ключевые слова: понижающий трансформатор, момент отключения нагрузки, перенапряжение.

Key words: step-down transformer, load disconnection moment, overvoltage.

### **Введение**

В работе [1] была описана и доказана принципиальная возможность управления коммутацией силовых трансформаторов понижающих трансформаторных подстанций. В работе [2] изложено исследование влияния различных параметров нагрузки на время переходного процесса её подключения к фазам понижающего трансформатора [5]. Появление фазных перенапряжений при отключении нагрузки, также, как и бросков тока в ходе переходного процесса подключения нагрузки к трансформатору, приводит к негативным последствиям для изоляции трансформатора, снижению его срока службы. Поэтому актуальным является снижение уровня перенапряжений процесса отключения нагрузки, целесообразным – исследование влияния мощности трансформатора, его загрузки, коэффициентов мощности [4, 6] и несимметрии нагрузки, а также момента отключения каждой однофазной нагрузки от трансформатора за счет выключателей. Данная статья посвящена статистическому исследованию влияния последнего параметра на величину фазных перенапряжений и выявлению критерия их снижения.

### **Основная часть**

Статистическое исследование по влиянию момента отключения нагрузки от фаз понижающего трансформатора проводилось на модели трансформаторной подстанции в среде Simulink программного пакета Matlab [3, 7, 8, 9]. Описание схемы модели приведено в другой статье автора. Запуск расчета модели производился 121 раз согласно числу возможных комбинаций момента времени отключения нагрузок от трёх фаз трансформатора. Момент отключения нагрузки фазы А всегда оставался постоянным ( $t_A = 0,1$  с), моменты отключения нагрузок фаз В и С менялись в диапазоне (0,1...0,11 с) с шагом 0,001 с. Для каждой комбинации также определялись среднеквадратичные значения фазных перенапряжений  $\Delta U_A$ ,  $\Delta U_B$ ,  $\Delta U_C$  и время переходного процесса отключения каждой фазы ( $\tau_A$ ,  $\tau_B$ ,  $\tau_C$ ) – от момента отключения до достижения установившего среднеквадратичного значения напряжения фаз. Все перечисленные параметры после каждой итерации расчета заносились в файл формата Excel для дальнейшего анализа и определения суммарных перенапряжений по всем фазам трансформатора  $\Delta U_\Sigma$ . Результаты расчетов величины  $\Delta U_\Sigma$  при различных комбинациях моментов отключения нагрузок приведены на диаграмме рисунка 1.



Рисунок 1 – Диаграмма значений суммарных перенапряжений по всем фазам трансформатора

Из диаграммы видно, что величина суммарных перенапряжений по всем фазам понижающего трансформатора в зависимости от задержки отключения выключателей фаз, сильно меняется в диапазоне (403...1769) В. В результате анализа графиков зависимости среднеквадратичного значения фазного напряжения от времени можно сделать следующий вывод. За время протекания переходного процесса напряжения ( $\tau$ ) по фазам трансформатора, график зависимости может быть аппроксимирован треугольником с высотой равной значению перенапряжения  $\Delta U$  и основанием равным  $\tau$ . Таким образом, был предложен следующий критерий снижения перенапряжений, заключающийся в минимизации площади образованного треугольника:

$$S = \frac{1}{2} \Delta U \cdot \tau. \quad (1)$$

Далее по формуле (1) были рассчитаны значения площади треугольников переходных процессов по каждой фазе для различных комбинаций момента отключения нагрузок ( $t$ ). Результаты расчетов приведены на рисунке 2.

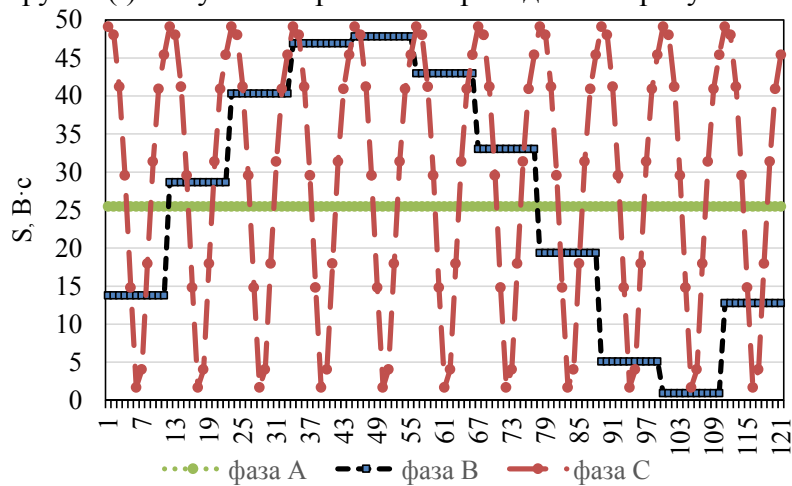


Рисунок 2 – Диаграммы изменения величины площади треугольников переходных процессов

### Заключение

Из рисунка 2 видно, что самая минимальная величина площади треугольника переходного процесса, при условии ее постоянства для фазы А трансформатора, наблюдается для комбинации  $t = (0,1; 0,109; 0,105)$  с. Тем самым, в результате исследования было зафиксировано влияние момента отключения фаз трансформатора на уровень перенапряжений, определен критерий для их снижения, выявлена наиболее эффективная комбинация моментов отключения нагрузок по каждой фазе понижающего трансформатора в модели трансформаторной подстанции 6(10)/0,4 кВ.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шевцов Д.Е. Модели и методы управляемой коммутации в электрических сетях 6(10) кВ систем электроснабжения. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. н., Новосибирск, 2017. – 151 с.
2. Гринкруг М.С., Новгородов Н.А. Исследование влияния параметров нагрузки на время переходного процесса при её подключении к понижающему трансформатору / М.С. Гринкруг, Н.А. Новгородов // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема, 2021. – № 4 (45). – С. 9-14.
3. Кобылицкий А.Н., Игнатенко И.В., Власенко С.А., Пухова А.И., Казакул А.А. Эффективность использования автоматизированного расчёта аварийно допустимых токов в линиях электропередачи / А.Н. Кобылицкий, И.В. Игнатенко, С.А. Власенко, А.И. Пухова, А.А. Казакул // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. – № 3 (59). – С. 21-26.
4. Марченко Н.М. Моделирование компенсатора реактивной мощности в пакете MATLAB / Н.М. Марченко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. – № 1 (57). – С. 24-34.
5. Марущенко С.Г., Ненюк В.В. Применение автономного источника электроснабжения для снижения пиковой нагрузки на электрическую сеть / С.Г. Марущенко, В.В. Ненюк // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. – № 3 (59). – С. 54-65.
6. Климаш В.С., Табаров Б.Д. Разработка конденсаторных установок и способа регулирования реактивной мощности в системах промышленного электроснабжения / В.С. Климаш, Б.Д. Табаров // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2022. – № 1 (57). – С. 7-14.
7. Иванов С.Н., Колесник М.Б., Колошенко Ю.Б., Просолович А.А., Ким К.К. Постановка задачи выбора и алгоритм определения параметров передаточных элементов электромеханических преобразователей с учётом действующих напряжений / С.Н. Иванов, М.Б. Колесник, Ю.Б. Колошенко, А.А. Просолович, К.К. Ким // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2021. – № 1 (49). – С. 29-36.
8. Иванов С.Н., Ким К.К., Просолович А.А., Хисматулин М.И. Анализ электромеханических систем методами имитационного моделирования / С.Н. Иванов, К.К. Ким, А.А. Просолович, М.И. Хисматулин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2021. – № 3 (51). – С. 29-38.
9. Марченко Н.М. Расчёт параметров модели и моделирование трёхфазных трансформаторов в MATLAB / Н.М. Марченко // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, 2020. – № 5 (45). – С. 53-63.

**СЕКЦИЯ**

**НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ,  
АВИАЦИОННАЯ И МОРСКАЯ ТЕХНИКА**



УДК 629.7.02

Абдулин Виктор Игоревич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Abdulin Victor Igorevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

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, Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕСТА КРЕПЛЕНИЯ ПОДШИПНИКА В ШАРИКО-ВИНТОВОМ МЕХАНИЗМЕ НАВЕСКИ СЕКЦИЙ ЗАКРЫЛКА**

### **DEVELOPMENT OF THE LOCATION FOR INSTALLING THE BEARING IN THE BALL SCREW OF THE MECHANISM FOR FASTENING THE FLAP SECTIONS**

Аннотация. Предлагается новая усовершенствованная конструкция места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме, предназначенном для выпуска и уборки секции закрылка самолета при взлете и посадке, с применением стопорного кольца. Составлена компьютерная трёхмерная модель сборки, проведено ее исследование на прочность методом конечных элементов. Показано, что с использованием новой конструкции значительно повышается разрушающее усилие, а также улучшается ремонтпригодность механизма.

Abstract. A new, improved design is proposed for the bearing mounting location in the ball screw mechanism, designed to release and retract the aircraft flap section during takeoff and landing, using a locking ring. A three-dimensional computer model of the assembly was compiled and its strength was studied using the finite element method. It is shown that using the new design significantly increases the ultimate force, and also improves the maintainability of the mechanism.

Ключевые слова: закрылок, монтаж, математическое моделирование, метод конечных элементов, прочность, напряженно-деформированное состояние.

Key words: flap, installation, mathematical simulation, finite element method, strength, stress-strain state.

#### **Введение**

Для выпуска и уборки секции закрылка крыла самолета используются шарико-винтовые механизмы (ШВМ), которые устанавливаются в хвостовой части крыла (рисунок 1). В ШВМ устанавливают подшипники шарнирные [1]. При установке подшипника применена посадка с натягом, также произведено кернение посадочного места подшипника для предотвращения перемещения подшипника.

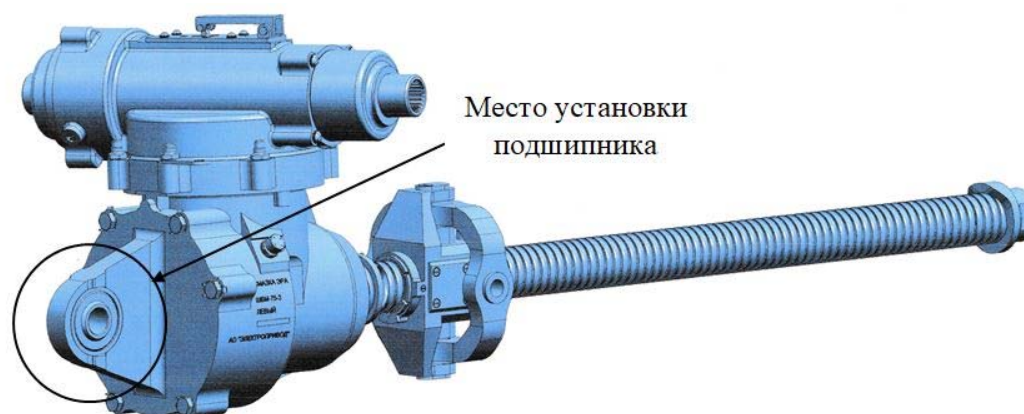


Рисунок 1 – Шарико-винтовой механизм

Однако данный способ фиксации не всегда обеспечивает прочность, а именно, может происходить выпадение подшипника под действием осевой нагрузки при монтаже. Поэтому предлагается изменение конструкции места крепления подшипника, с применением стопорного кольца.

#### Основная часть

Для предотвращения выпадения подшипника из корпуса ШВМ при монтаже закрывка было предложено изменить конструкцию места установки подшипника таким образом, чтобы с одной стороны подшипник упирался в стенку, с другой стороны было выполнено стопорение с помощью стопорного кольца (рисунок 2, а).

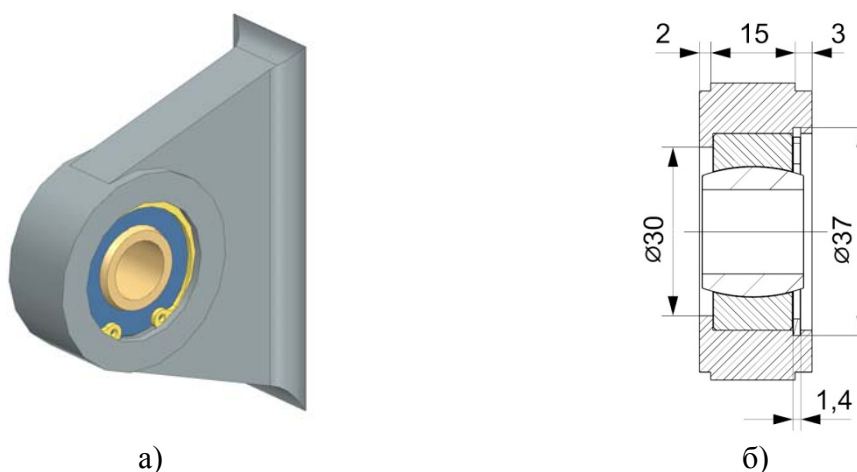


Рисунок 2 – Конструкция места установки подшипника:  
 а) 3D-модель корпуса с подшипником и стопорным кольцом;  
 б) разрез корпуса с подшипником и стопорным кольцом

В модели для проведения вычислительных экспериментов по доказательству прочности предложенной конструкции используется подшипник марки 2ШМ15 [1] (рисунок 2, б) и стопорное кольцо с условным диаметром кольца 35 [2]. Для описания напряженно-деформированного состояния места установки подшипника используется модель упругопластического твердого тела с линейным упрочнением. Геометрическая модель места установки подшипника была выполнена в системе Siemens NX. Расчеты производились методом конечных элементов в модуле Static Structural пакета инженерного анализа ANSYS Workbench [3]. Материал корпуса – Д16, материал подшипника – ШХ15, материал стопорного кольца – 65Г. Механические свойства материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства материалов

Свойства	Материал		
	Д16 [4]	ШХ15 [5]	65Г [6]
Модуль упругости, ГПа	72	211	215
Коэффициент Пуассона	0,33	0,28	0,29
Предел текучести, МПа	320	1320	1450
Временное сопротивление, МПа	450	1860	1670
Относительное удлинение, %	19	8	8
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,6	7,815	7,85
Касательный модуль, МПа	700	7323	3003

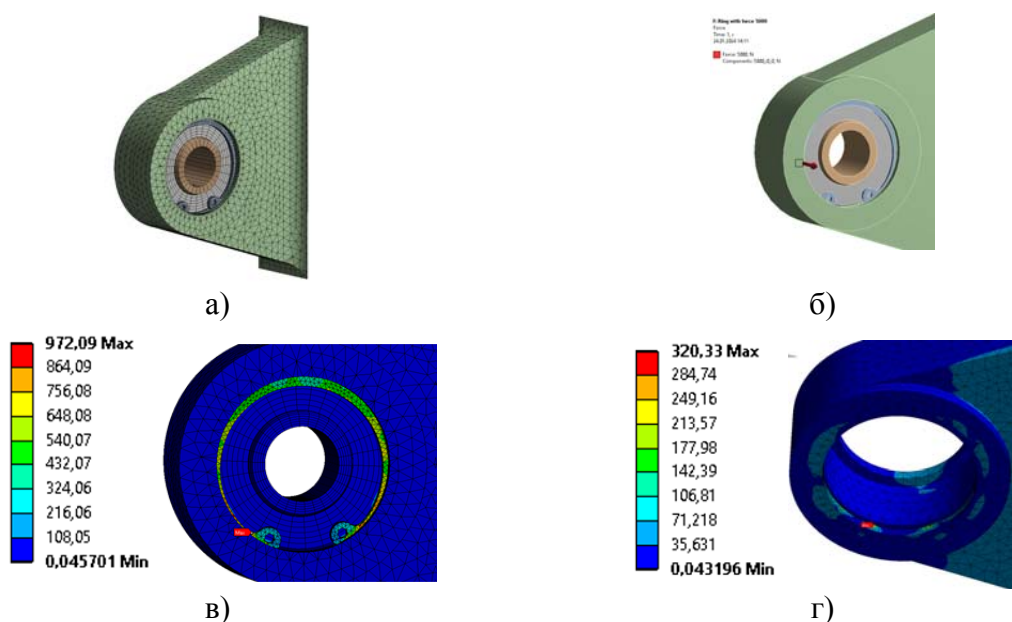


Рисунок 3 – Расчет на прочность усовершенствованной конструкции места крепления подшипника: а) дискретизация расчетной области; б) действующие нагрузки; в) напряжения в стопорном кольце при осевой силе 5000 Н, МПа; г) напряжения в корпусе при осевой силе 4720 Н, МПа

При дискретизации расчетной области была построена трехмерная сетка (рисунок 3, а). К внутреннему кольцу подшипника прикладывается сила до 5000 Н (рисунок 3, б). Определяется значение осевой силы, при котором начинаются пластические деформации в материале корпуса либо в стопорном кольце. Результаты расчета приведены на рисунке 3, в, г. При приложенной силе 5000 Н максимальные напряжения в стопорном кольце составили 972 МПа (рисунок 3, в), на корпусе максимальные напряжения при этом равны 336 МПа, что превышает предел текучести материала Д16 (320 МПа), но предел прочности (450 МПа) не достигается и разрушение соединения не произойдет. Пластические деформации в корпусе не возникают при силе ниже 4720 Н (рисунок 3, г).

### Заключение

На основании выполненных расчетов можно утверждать, что измененная конструкция места крепления подшипника в шарико-винтовом механизме, предназначенном для выпуска и уборки секции закрылка самолета при взлете и посадке, с применением стопорного кольца значительно увеличивает предельное усилие для разрушения соединения, а также улучшает ремонтпригодность по сравнению с применяемым в настоящее время закреплением подшипника с помощью кернения.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 3635-78. Подшипники шарнирные. Технические условия. Введ. 01.07.1979. – Москва: Изд-во стандартов, 1978. – 27 с.
2. ГОСТ 13943-86. Кольца пружинные упорные плоские внутренние эксцентрические и канавки для них. Конструкция и размеры. Введ. 01.01.1988. – Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 27 с.
3. Инженерный анализ в Ansys Workbench: Учеб. пособ. / В. А. Бруйка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова, Н. А. Глазунова, И. Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
4. ГОСТ 4784-2019. Алюминий и алюминиевые сплавы деформируемые. Введ. 01.09.2019. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 35 с.
5. ГОСТ 801-78. Сталь подшипниковая. Технические условия. Введ. 01.01.1980. – Москва: Изд-во стандартов, 1980. – 26 с.
6. ГОСТ 14959 – 2016. Металлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Введ. 01.01.2018. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 32 с.

УДК 533.6.04

Агулов Владислав Алексеевич, студент, Воронежский государственный технический университет

Agulov Vladislav Alekseevich, 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 ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ МЕЖДУ ДЕФЛЕКТОРОМ ЗАКРЫЛКА И КРЫЛОМ СКВП НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ РЕЖИМА «ПОСАДКА»**

### **THE INFLUENCE OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE AERODYNAMIC GAP BETWEEN THE FLAP DEFLECTOR AND THE WING STLA OF THE SKVP ON THE LIFT COEFFICIENT OF THE "LANDING" MODE**

Аннотация. Представлены результаты расчётов по определению зависимости подъёмной силы СКВП от геометрических параметров аэродинамической щели при различных углах установки носового щитка основного звена закрылка и углах поворота хвостовой части его подвижной панели.

Annotation. The results of calculations are presented to determine the dependence of the lifting force of the SQUP on the geometric parameters of the aerodynamic gap at different angles of installation of the nose flap of the main flap link and the angles of rotation of the tail section of its movable panel.

Ключевые слова: крыло, СКВП, закрылок, подвижная панель, щиток главного звена.

Keywords: wing, flap, flap, movable panel, main link flap.

#### **Введение**

Достаточно важным вопросом совершенствования воздушного судна является улучшения его взлётно-посадочных характеристик, существенно влияющих на технику пилотирования, безопасность полёта на этапах взлёта-посадки, а также – длину необходимой взлётно-посадочной полосы. Наиболее эффективным методом улучшения ВПХ является совершенствование механизации крыла самолета.

Цель данного исследования – оценить влияние параметров входного сечения потока в аэродинамический канал между крылом и дефлектором закрылка на подъемную силу и соответственный коэффициент с различными углами отклонения хвостовой части его подвижной панели. Оценка выполнена численным методом с использованием вычислительного пакета.

#### **Основная часть**

Рассмотрен двухщелевой закрылок, который имеет определённые особенности. В носовой части главного звена закрылка шарнирно установлен щиток, который может отклоняться на различные углы относительно крейсерского положения. В верхней части главного звена закрылка подвижно установлена панель, которая имеет возможность смещения назад в поток с последующим разворотом на некоторый угол. Это обеспечивает большее увеличение площади и кривизну крыла. Для данного закрылка проведена оценка влияния геометрических параметров входного сечения потока в первый аэродинамический канал между крылом и дефлектором.

Основные данные:

– угол атаки  $\alpha = 6,5^\circ$

– скорость  $v = 39\text{ м/с}$

- углы отклонения хвостовой части панели  $\delta_{\text{хв}} = 38^\circ; 43^\circ$
- углы отклонения щитка  $\delta_{\text{щ}} = 41^\circ; 46^\circ; 51^\circ$
- параметры аэродинамической щели  $\overline{e_{\text{вх}}} = 0,094; 0,111; 0,121$

Сформирована модель части крыла в электронном виде и выполнены аэродинамические расчеты с определением подъемной силы.

На рисунке 1 – зависимость  $C_y$  крыла самолета короткого взлета и посадки посадочной конфигурации от относительного параметра входного сечения потока в первый аэродинамический канал с углом отклонения хвостовой части подвижной панели закрылка  $\delta_{\text{хв}} = 38^\circ$  при углах отклонения носового щитка основного звена закрылка  $\delta_{\text{щ}} = 41^\circ; 46^\circ; 51^\circ$ .

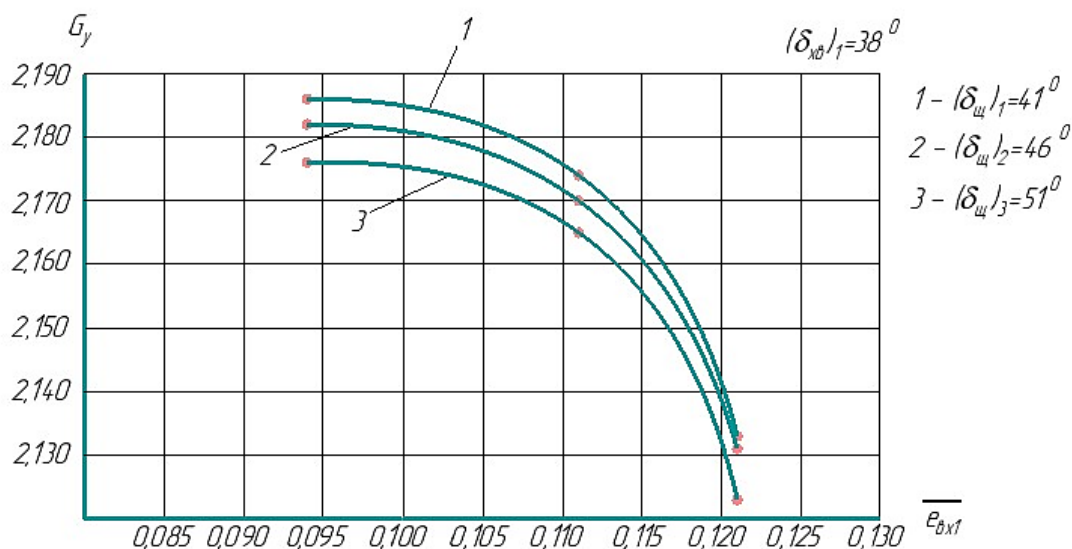


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента подъемной силы крыла от параметра входного сечения аэродинамического канала между крылом и дефлектором при  $\delta_{\text{хв}} = 38^\circ, \delta_{\text{щ}} = 41^\circ; 46^\circ; 51^\circ$

На рисунке 2 – зависимость  $C_y$  крыла самолета короткого взлета и посадки от относительного параметра входного сечения в первый аэродинамический канал закрылка при  $\delta_{\text{хв}} = 43^\circ, \delta_{\text{щ}} = 41^\circ; 46^\circ; 51^\circ$ .

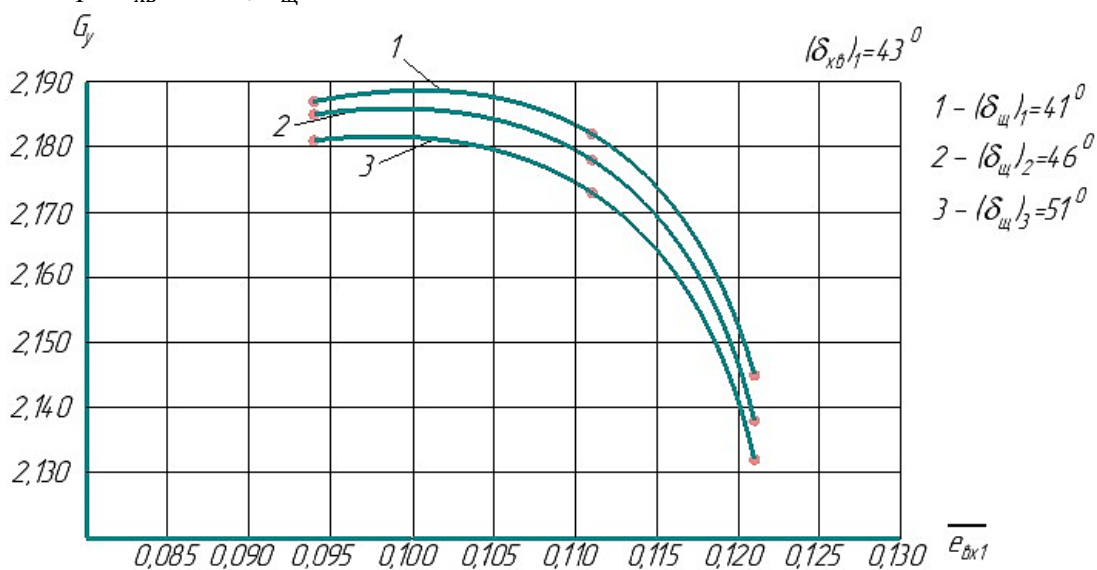


Рисунок 2 – Зависимости как и рис. 1, отличие  $\delta_{\text{хв}} = 43^\circ$

На рисунке 3 предоставлено распределение давлений вокруг профиля крыла с механизацией с углом отклонения хвостовой части подвижной панели закрылка  $\delta_{\text{хв}} = 43^\circ$ , углом отклонения носового щитка основного звена закрылка  $\delta_{\text{щ}} = 41^\circ$ , относительным геометрическим параметром входного сечения потока в первый аэродинамический канал  $\bar{e}_{\text{вх}} = 0,094$ .

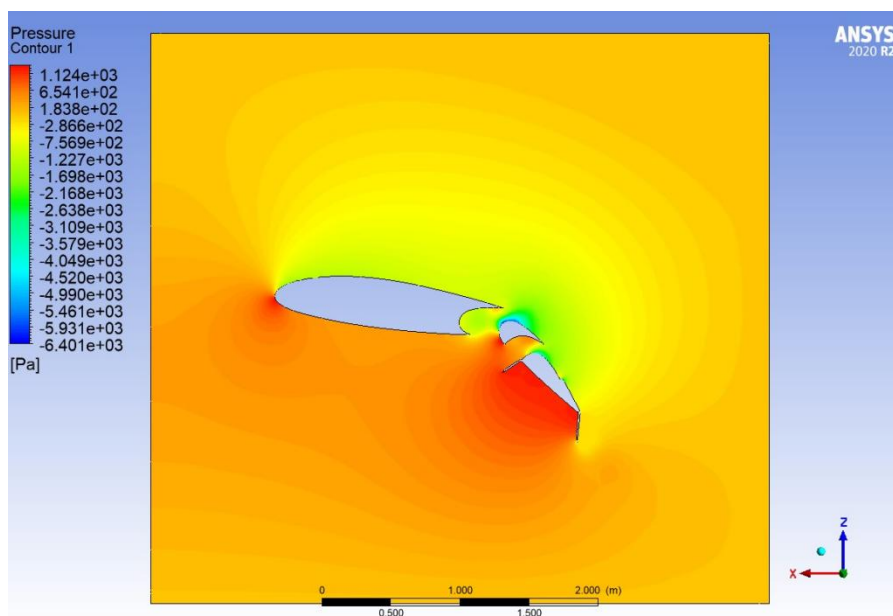


Рисунок 3 – Давление вокруг профиля крыла конфигурации «посадка» при  $\delta_{\text{хв}} = 43^\circ$ ,  $\delta_{\text{щ}} = 41^\circ$ ,  $\bar{e}_{\text{вх}} = 0,094$

### Заключение

В результате получено, что для наиболее эффективного варианта параметров двухщелевого закрылка с подвижной панелью и носовым щитком его основного звена при  $\delta_{\text{хв}} = 43^\circ$ ,  $\delta_{\text{щ}} = 41^\circ$  с изменением относительного параметра входного сечения потока в первый аэродинамический канал от  $\bar{e}_{\text{вх1}} = 0,121$  до  $\bar{e}_{\text{вх3}} = 0,094$  коэффициент подъёмной силы механизированного крыла при посадке возрастает от  $C_{y1} = 2,144$  до  $C_{y3} = 2,187$ .

Наивысшее значение  $C_y$  крыла с двухщелевым закрылком посадочной конфигурации с рассмотренными параметрами и исходными данными  $C_y = 2,187$  соответствует углу отклонения хвостовой части подвижной панели закрылка  $\delta_{\text{хв}} = 43^\circ$ , углу отклонения носового щитка его основного звена  $\delta_{\text{щ}} = 41^\circ$ , относительному параметру входного сечения потока в первый аэродинамический канал  $\bar{e}_{\text{вх}} = 0,094$ .

### 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 539.3

Андрианов Иван Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Andrianov Ivan Konstantinovich, candidate of engineering sciences, associate professor "Aircraft", Komsomolsk-na-Amure State University

Феоктистов Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Feoktistov Sergey Ivanovich, doctor of technical sciences, professor "Aircraft", Komsomolsk-na-Amure State University

Тхет Лин, аспирант кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Htet Lin, postgraduate student of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ АВТОФРЕТИРОВАНИИ ТОЛСТОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ**

### **PREDICTION OF THE RESIDUAL STRESS FIELD DURING AUTOFRETING OF THICK-WALLED CYLINDRICAL SHELLS TAKING INTO ACCOUNT ELASTOPLASTIC HETEROGENEITY**

Аннотация. Исследование посвящено вопросу изучения влияния переменного эффекта Баушингера на остаточные напряжения и оценке достоверности применения разработанной численной методики, основанной на использовании метода переменных параметров упругости в задачах знакопеременного упругопластического деформирования толстостенных цилиндрических оболочек. Для оценки достоверности было использовано сравнение полученных теоретических результатов с результатами расчётов других авторов.

Abstract. The study is devoted to the study of the influence of the variable Bauschinger effect on residual stresses and the assessment of the reliability of the application of the developed numerical technique based on the use of the method of variable elasticity parameters in problems of alternating elastic-plastic deformation of thick-walled cylinders. To assess the reliability, a comparison of the theoretical results obtained with the results of calculations by other authors was used.

Ключевые слова: эффект Баушингера, цилиндрическая оболочка, автофретирования, упругопластическая неоднородность, остаточные напряжения

Key words: Bauschinger effect, cylindrical shell, autofretting, elastoplastic heterogeneity, residual stresses

#### **Введение**

Толстостенные цилиндрические оболочки и сосуды из высокопрочной стали широко используются в качестве цилиндров компрессоров и насосов, труб высокого давления, технологических реакторов и сосудов, изостатических сосудов и оружейных стволов [1]. Для увеличения их усталостного ресурса или повышения их несущей способности применяют процесс автоскрепления (автофретирования) [2]. В качестве объекта исследования рассматривалась толстостенная цилиндрическая оболочка с отношением наружного и внутреннего радиусов  $R_0/r_0 = 3$ ,  $E/\sigma_{iT} = 1000$  и идеальным упругопластическим поведением при нагружении и разгрузке. Переход из стадии упругого деформирования в пластическую определялся на основании критерия Мизеса.

Модель расчета строилась на основании уравнений деформационной теории пластичности. Полный вывод интегральных уравнений и алгоритм расчёта представле-

ны в работе [3]. В случае автофретирования с продольным растяжением, возникающем только за счёт давления на днище, можно считать осевую деформацию равной нулю, а деформированное состояние плоским [2]. В этом случае  $e_z = 0$  и, следовательно,  $\sigma_z = \mu^*(\sigma_\rho + \sigma_\theta)$ .

После интегрирования уравнения совместности деформаций Генки, записанных в координатах Эйлера [4], и замены деформаций напряжениями, получено интегральное уравнение совместности деформаций в напряжениях:

$$\sigma_\theta = \frac{\mu^*}{(1 - \mu^*)} \sigma_\rho + \frac{1}{(1 - \mu^{*2})} E^* \ln \left( -\rho \int_R^\rho \frac{1}{\rho^2} \exp \left\{ \frac{1}{E^*} [(2 + \mu^* - \mu^{*2}) \sigma_\theta - (1 + 2\mu^* + \mu^{*2}) \sigma_\rho] \right\} d\rho + \frac{\rho}{R_0} \right). \quad (1)$$

Уравнение равновесия в интегральной форме имеет вид:

$$\sigma_\rho = \frac{1}{\rho} \int_R^\rho \sigma_\theta d\rho. \quad (2)$$

В соответствии с методом переменных параметров упругости [2], решение по определению напряжённо-деформированного состояния при автофретировании с продольным растяжением толстостенного цилиндра проводится методом последовательных приближений по итерационной схеме [3] с использованием уравнений (1) и (2) при заданных граничных условиях:

$$\begin{aligned} \sigma_\rho|_{\rho=R} &= 0, & \sigma_\rho|_{\rho=r} &= -p, \\ u_\rho|_{\rho=R} &= R - R_0. \end{aligned}$$

Численные расчеты проводились для следующих уровней автофретирования  $S_{гр.отн} = \{0.16; 0.3; 0.5; 0.9\}$ , определяемых относительной величиной пластической области:

$$S_{гр.отн} = \frac{R_{гр} - r}{R - r}, \quad (3)$$

где  $R_{гр}$  – радиус раздела упругой и пластической области деформирования.

Изменение коэффициента эффекта Баушингера для стали 4330, в зависимости от величины предшествующей деформации, были взяты из графиков, приведённых в работе [5].

Анализ достоверности полученных результатов расчётов остаточных напряжений проводился сопоставлением с результатами представленными в работе [6]. В данной работе остаточные напряжения определялись методом переменных свойств материала, который является модификацией метода упругих решений.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты сопоставления полученных осевых и окружных остаточных напряжений для различных уровней автофретирования при переменном коэффициенте Баушингера и постоянном коэффициенте Баушингера, равном 0,35.



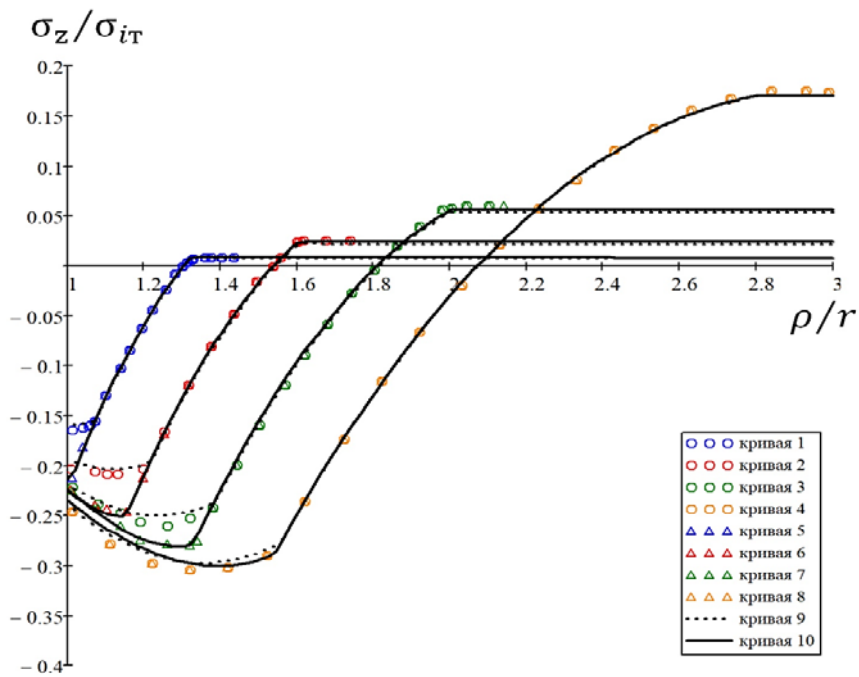


Рисунок 1 – Распределение относительных остаточных осевых напряжений при различных уровнях перегрузки:  
 1,5 –  $S_{гр.отн} = 0,16$ , 2,6 –  $S_{гр.отн} = 0,30$ , 3,7 –  $S_{гр.отн} = 0,50$ , 4,8 –  $S_{гр.отн} = 0,90$   
 для постоянного (1-4, 9) и переменного (5-8, 10) коэффициентов Баушингера, полученные согласно: 1-8 – методу переменных свойств материала [6];  
 9,10 – методике данного исследования

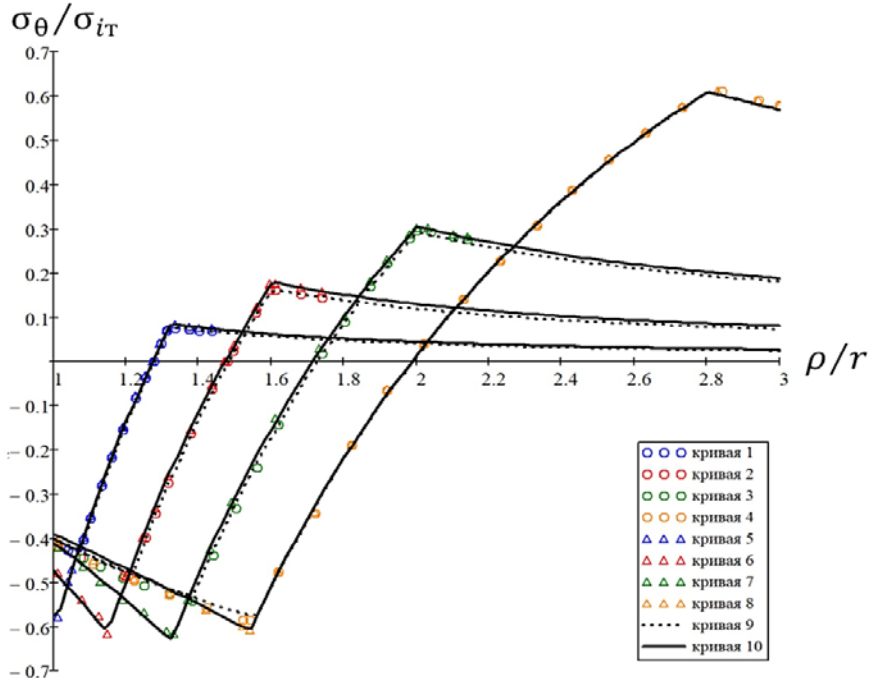


Рисунок 2 – Распределения относительных остаточных окружных напряжений при различных уровнях перегрузки:  
 1,5 –  $S_{гр.отн} = 0,16$ , 2,6 –  $S_{гр.отн} = 0,30$ , 3,7 –  $S_{гр.отн} = 0,50$ , 4,8 –  $S_{гр.отн} = 0,90$   
 для постоянного (1-4, 9) и переменного (5-8, 10) коэффициентов Баушингера, полученные согласно: 1-8 – методу переменных свойств материала [6];  
 9,10 – методике данного исследования

Как видно из представленных рисунков, результаты, полученные согласно разработанной методике на основании метода переменных параметров упругости и полученные на основании метода переменных свойств материалов [6], достаточно хорошо согласуются. Наибольшая разница между результатами, полученными для постоянного и переменного коэффициента эффекта Баушингера наблюдается для низких уровней автофретирования. С увеличением уровня автофретирования эта разница уменьшается.

### **Заключение**

Представленные в работе результаты позволяют сделать следующие выводы:

– Сравнение полученных результатов с результатами других авторов подтверждает достоверность разработанного метода определения остаточных напряжений.

– Методика обеспечивает полное упругопластическое решение с учётом физической неоднородности, вызванной эффектом Баушингера.

– Анализ результатов определения остаточных напряжений при использовании постоянного и переменного коэффициентов Баушингера показал, что учет зависимости коэффициента эффекта Баушингера от уровня предшествующей пластической деформации имеет важное значение при анализе знакопеременного упругопластического деформирования толстостенных цилиндрических оболочек с низким уровнем автофретирования.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке «Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных и по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации» в рамках стипендии по проекту СП-2200.2022.5 «Разработка моделей и алгоритмов расчёта пластического формообразования заготовок штамповочного производства».

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Fryer, D.M. High Pressure Vessels / Donald M. Fryer, John F. Harvey – Boston: Springer, 2012. – 216 p. ISBN-10: 1461377447.

2. Малинин, Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин – М.: Машиностроение, 1975. – 399 с.

3. Феоктистов, С.И. Моделирование напряжённо-деформированного состояния толстостенных цилиндрических оболочек с учётом физической нелинейности материала / С.И. Феоктистов, И.К. Андрианов, Лин Тхет // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2022. № 3 (59). С. 12-20.

4. Феоктистов, С.И. Уравнения совместности логарифмических деформаций в координатах Эйлера для решения осесимметричных процессов обработки металлов давлением / С.И. Феоктистов, И.К. Андрианов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 7 (55). С. 26-30.

5. R. V. Miiligan W. H. Koo and T. E. Davidson (June 1, 1966) The Bauschinger Effect in a high-strength steel // ASME. J. Basic Eng. June 1966; Vol. 88(2). – pp. 480-488. <https://doi.org/10.1115/1.3645883>.

6. Jahed, H., and Dubey, R. N., 1997, “An Axisymmetric Method of ElasticPlastic Analysis Capable of Predicting Residual Stress Field,” ASME J. Pressure Vessel Technol., 119, pp. 264–273.

## ПРИМЕНЕНИЕ AR ТЕХНОЛОГИИ В АВИАСТРОЕНИИ

### APPLICATIONS OF AR TECHNOLOGY IN THE AIRCRAFT INDUSTRY

Аннотация. В статье рассматриваются различные аспекты применения технологий дополненной реальности, сокращённо AR технологии, в авиационной промышленности.

Abstract The article discusses various aspects of the use of augmented reality technologies, abbreviated AR technology, in the aviation industry.

Ключевые слова: AR технологии, самолетостроение, дополненная реальность,  
Keywords: AR technologies, aircraft engineering, augmented reality

#### Введение

Авиационная промышленность всегда была в авангарде инновационного развития экономики нашей страны. Поэтому технология дополненной реальности (augmented reality, AR), обеспечивающая проецирование цифровой информации (текста, изображений, графики, видео) на экран различных технологических устройств [1], оказалась весьма востребованной в этой отрасли.

Цифровая информация в виде искусственно сгенерированных визуальных объектов, накладываемых на физическое пространство, помогает принимать правильные решения в режиме реального времени, выполняя поставленные технологические или эксплуатационные задачи. реализацию AR технологий в сборочном процессе авиационной конструкции [1] иллюстрирует рис. 1.

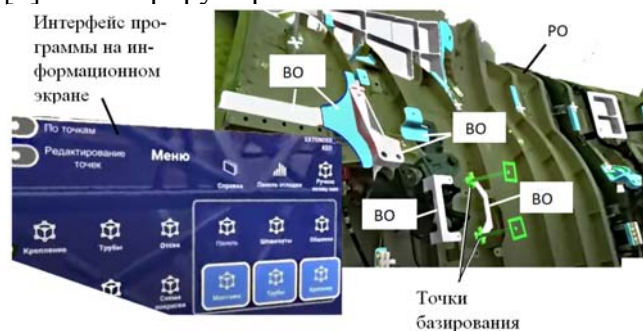


Рисунок 1 – Создание дополненной реальности при проведении сборочных операций

Обозначения: ВО – виртуальный объект; РО – реальный объект

В компании Boeing провели исследование [2] с целью оценки эффективности трех различных методов и средств транслирования технологической информации при осуществлении сборочных операций на производственном участке:

- инструкция в формате \*.pdf на компьютере,
- инструкция в формате \*.pdf на планшете,
- планшет с функциями AR.

Качество сборки оценивалось по количеству ошибок, допущенных во время выполнения задания и времени затраченную на сборку.

С целью адаптации к 2-м первым, традиционным формам подачи информации, для них были проведены 2 серии испытаний, см. рис. 2. Количество ошибок при использовании AR технологии оказалось наименьшим благодаря визуализации однозначно трактуемой технологической информации., см. рис. 3. Это позволяет сделать вывод

о том, что применение AR технологий сможет существенно повысить качество и точность сборочных операций в самолётостроении.

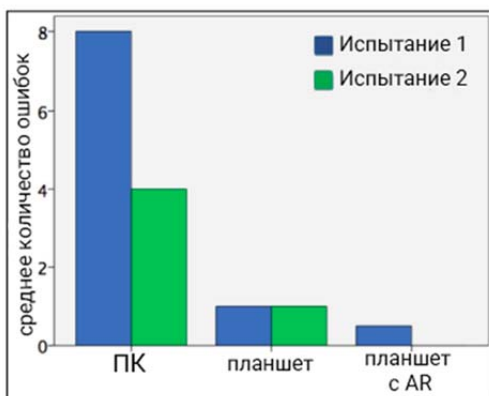


Рисунок 2 – Зависимость количества ошибок при сборке от метода и средств транслирования технологической информации

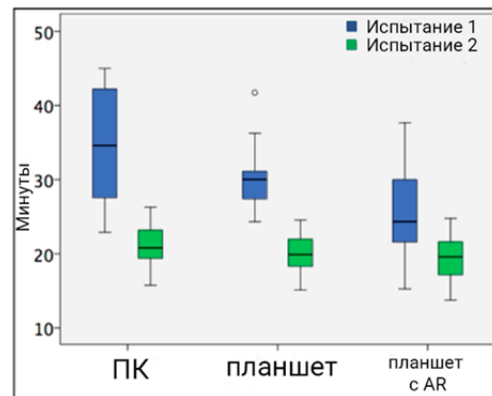


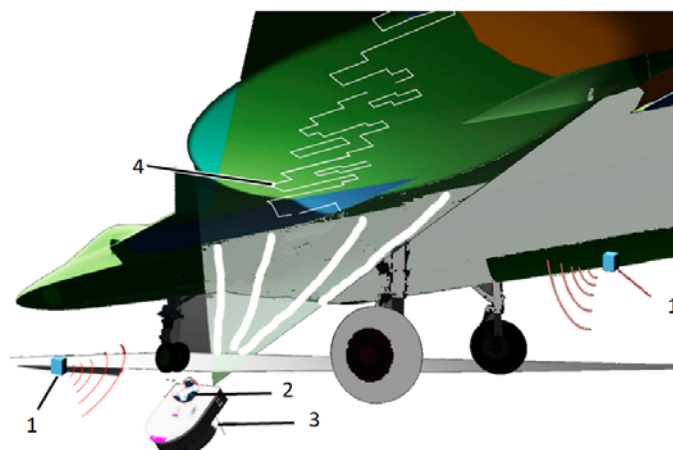
Рисунок 3 – Влияние формы и средства подачи технологической информации на длительность выполнения сборочной операции

Тесты показали, что использование этой технологии приводит к сокращению времени сборки на 30 %, а точность применения составляет почти 96 % [3].

В российском авиастроении AR технологии используются на авиационном заводе им. Ю. А. Гагарина в Комсомольске-на-Амуре. С помощью устройств дополненной реальности виртуальную модель агрегата визуально накладывают на реальный объект сборки агрегата конструкции самолёта.

На этапах общетехнического осмотра и операционного контроля AR технология с помощью голограммы монтажей в тех местах, где они должны быть установлены, обеспечивает прямой доступ к актуальной цифровой информации, повышая точность оценки места и характера возможного отклонения от требований технологической нормативной документации.

Кроме сборочных операций дополненная реальность может быть применена для качественного нанесения лакокрасочных покрытий на изделие в соответствии с геометрически заданным многоэлементным контуром. В этом случае контур окраски через наложение его 3D модели проецируется на физическую поверхность. Позиционирование и трекинг осуществляется с помощью станций с инфракрасным сигналом (рис. 4).



1 – базовая станция; 2 – трекер; 3 – переносной проектор; 4 – контур пикселя

Рисунок 4 – Применение AR технологии для пиксельной окраски планера

В рабочую зону устанавливают базовые станции инфракрасного излучения сигнала, которые излучают сигнал разных частот. Станции размещаются таким образом, чтобы

охватить пространство перемещения проектора. На проектор прикрепляется трекер, который по сигналам с базовых станций вычисляет положение текущей точки пространстве.

Технология производства самолётов является не единственной областью приложения рассматриваемой технологии. Качество и скорость технического обслуживания воздушных судов также можно повысить благодаря визуальным подсказкам и инструкциям, предоставляемым AR технологиями. Технический персонал сможет оперативно обнаруживать и устранить неисправности, а также проводить обслуживание с высокой точностью.

AR-технологии могут облегчить логистику навигации. И не только в авиации. Например, использовать дополненную реальность для создания виртуальных маршрутов складских помещений федеральных торговых сетей. Это может существенно сократить время на поиск необходимых вещей и облегчить процесс организации хранения и перемещения грузов.

AR технологии представляют собой современный информационный инструмент, который может позволяет увеличить производительность труда, сократить длительность и затраты на производство в машиностроительных отраслях. Повысить качество и безопасность эксплуатации воздушных судов.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Появилось видео использования дополненной реальности при сборке Су-57 // YouTube 2020. 11 дек. URL : [https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=S6bOFT\\_oR1c](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=S6bOFT_oR1c)

2. Measuring augmented reality impacts at Boeing – URL: <https://theserviceconcept.com/2825-2/> Дата публикации: 15.03.2016. – Текст электронный.

3. Садовник, Н. О. AR технологии в производстве / Н. О. Садовник // Аллея науки. – 2021. – Т. 1, № 7(58). – С. 576-580

4. Дополненная реальность в промышленности: кейс из России . – URL: <http://icmim.sfu-kras.ru/node/2595?ysclid=lrffz578bqt661502526> Дата публикации: 02.02.2019. – Текст электронный.

5. Индустриальный AR: как корпорации используют дополненную реальность reality – URL: <https://rb.ru/longread/industrial-AR/> Дата публикации: 28.10.2019.

6. Применение технологий VR/AR в процессе отработки навыков обслуживания военной техники / Ш. Кадиркулов, В. Чернов, Е. Макаев, А. Манатбеков // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2023. – № 3(126). – С. 282-291

УДК 629.544

Боярчук Иван Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Boyarchuk Ivan Mikhailovich, 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

#### ЭВОЛЮЦИЯ РАЗВИТИЯ МОРСКИХ КОНТЕЙНЕРОВОЗОВ

#### EVOLUTION OF MARINE CONTAINER SHIPS

Аннотация. В современных условиях жесткой конкуренции на рынке морских контейнерных перевозок судовладельцы требуют от проектантов разработку контейнеровозов обладающих большей эффективностью. Основой разработки современных проектов судов является системный анализ, в том числе и анализ их эволюционного развития. В

работе рассмотрена эволюция развития контейнеровозов с позиции разрешения технических противоречий в процессе развития их конструктивных особенностей. На основе результатов анализа обсуждаются перспективы развития контейнеровозов.

Abstract. In modern conditions of fierce competition in the sea container transportation market, shipowners require designers to develop container ships that are more efficient. The basis for the development of modern ship designs is system analysis, including analysis of their evolutionary development. The paper examines the evolution of the development of container ships from the perspective of resolving technical contradictions in the process of developing their design features. Based on the results of the analysis, the prospects for the development of container ships are discussed.

Ключевые слова: контейнеровоз, системный анализ, эволюция развития, конструктивные особенности, проектная концепция.

Key words: container ship, system analysis, evolution of development, design features, design concept.

### Введение

Лидером развития морских контейнеровозов была американская компания Sea-Land, которая в 1956 году внедрила в свою практику мультимодальные перевозки. При этом компания впервые в мире организовала морскую контейнерную линию вдоль восточного побережья США. Так как контейнеры имели большие габаритные размеры, то они не могли быть загружены в трюмы сухогрузных транспортных судов из-за малого просвета грузовых люков и загроможденности палубы грузовыми устройствами (рисунок 1). Поэтому в качестве носителя контейнеров был выбран танкер “Ideal X” на котором поверх грузовых насосов на верхней палубе были смонтированы грузовые платформы (рисунок 2).

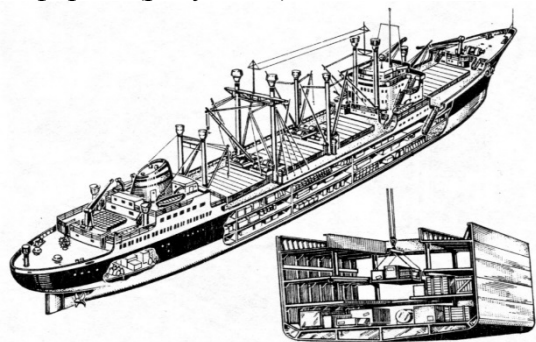


Рисунок 1 – Типовое сухогрузное судно 50-х годов



Рисунок 2 – Первый в мире контейнеровоз “Ideal X”

В первый свой рейс из Нью-Йорка в Хьюстон “Ideal X” отправился 26 апреля 1956 года с 58 контейнерами на борту [1].

В практике анализа развития контейнеровозов в литературе основной упор делается на рассмотрение этапов характеризующихся размерами судов. Однако морские контейнеровозы, почти за 70 летнюю историю развития, прошли гораздо интересный путь развития своих архитектурно-конструктивных особенностей, анализ которого позволяет наметить пути дальнейшего развития архитектурного типа контейнеровоза.

В работе приведен краткий обзор основных этапов развития архитектурного типа контейнеровозов с точки зрения разрешения технических противоречий.

### Основная часть

По сути, на первом этапе, первые контейнеровозы представляли собой комбинированные суда (танкеры-контейнеровозы) и внутреннее грузовое пространство для транспортировки контейнеров не использовалось (рисунок 3). Поэтому дальнейшее развитие контейнеровозов пошло путем модернизация сухогрузных судов под их приспособленность к перевозке контейнеров.

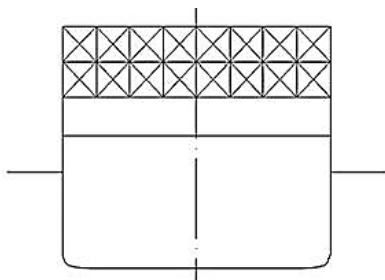


Рисунок 3 – Сечение корпуса контейнеровоза “Ideal X”

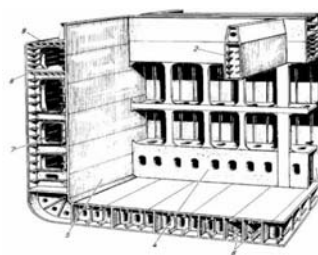


Рисунок 4 – Корпус с двойными бортами

Она заключалась в организации широкого раскрытия палубы, что одновременно привело к изменениям в конструкции корпуса в виде подпалубных карманов, а в дальнейшем и двойных бортов с целью обеспечения общей прочности корпуса судна (см. рисунок 4). Это позволило большую часть контейнерного груза перевозить в грузовых трюмах и существенно повысило контейнеровместимость судов.

Второй этап развития контейнеровозов характеризуется применением стационарных ячеистых конструкций в грузовых трюмах судов. Увеличение количества контейнеров на борту судна, привело к увеличению времени найтовочных работ в портах и большому разнообразию и количеству найтовочных приспособлений, что снижало эффективность судов. Применению стационарных креплений препятствовало многообразие типоразмеров контейнеров. Принятие в 1964 году Международной организацией по стандартизации стандартов на параметры контейнеров позволило более полно раскрыть преимущества контейнеризации и приступить к строительству специализированных судов [2].

Третий этап характеризуется увеличением скорости контейнеровозов. Это было связано с увеличением мирового грузооборота, протяженности грузовых линий и ценности грузов, перевозимых в контейнерах. Это можно было решить только за счет снижения полноты и увеличения заострения корпуса, что привело к перераспределению зон размещения контейнеров. Большую долю груза пришлось перевозить на крышках люков.

Четвертый этап характеризуется изменением архитектуры грузового пространства. Дальнейшее увеличение контейнеровместимости судов приводило к увеличению их размеров. При этом автоматически увеличивалась ширина люка, что автоматически увеличивало массу люковых закрытий для обеспечения их прочности с целью обеспечения увеличенной ярусности штабеля контейнеров перевозимых на палубе. Приходилось организовывать парность люков, чтобы критично не увеличивать размеры люковых крышек.

Разрешение данного технического противоречия заключалось в разбиении грузовых трюмов рамными конструкциями на отдельные грузовые секции (bay) кратные размеру 40-футового контейнера (рисунок 5). Ориентация сегментов люковых закрытий поменялась с поперечной на продольную с уменьшением их длины. Это позволило обеспечить максимальную ярусность «палубного» штабеля в 9-10 контейнеров, перейти к унифицированным размерам и конструкции элементов люковых закрытий.

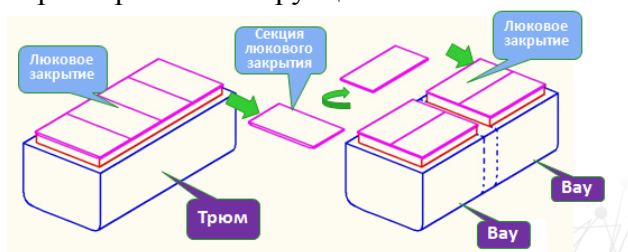


Рисунок 5 – Трансформация грузового пространства контейнеровоза

Переход на сегментное разбиение грузового пространства привело к формированию современного архитектурно-конструктивного типа контейнеровоза, как однопалубного судна с двойными бортами, грузовые трюмы которого разделены переборками и рамными конструкциями с ячеистыми направляющими [3]. Данная архитектура судов позволила строить ультра большие контейнеровозы вместимостью более 24 TEU [4].

## **Заключение**

Хотя современные контейнеровозы характеризуются большой экономической эффективностью, но поиск направлений дальнейшей ее повышения продолжается. Например, абсолютизацией идеи автоматизации перегрузочных процессов явилось появление проектов безлюковых контейнеровозов [2] и комбинированных судов с частично открытыми трюмами.

Еще одним перспективным направлением повышения эффективности является повышение контейнеропровозности судов за счет повышения параметров остойчивости контейнеровозов конструктивными мерами, а не традиционным приемом перераспределения контейнеров и балласта [5].

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Cudahy, Brian J. *Vox Boats: how container ships changed the world* / Brian J. Cudahy, – First edition. – New York: Fordham University Press, 2006. – 338 p.
2. Тарануха, Н. А. Безлюковые контейнеровозы / Н. А. Тарануха, А. Д. Бурменский – Владивосток : Дальнаука, 2010. – 248 с.
3. Гончаров, А. С. Архитектурные особенности контейнеровоза "FESCO Askold" / А. С. Гончаров, А. Д. Бурменский // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 216-218.
4. Царик, Р. С. Перспективы развития судов контейнеровозов / Р. С. Царик, Д. А. Акмайкин // Проблемы транспорта Дальнего Востока. Материалы юбилейной десятой международной научно-практической конференции посвященная 22-летию адмирала Г. И. Невельского. 2-4 октября 2013 г. – Владивосток: ДВО Российской Академии транспорта, 2013. – С. 149-154.
5. Арабаджи, К. Д. Особенности обеспечения остойчивости контейнеровозов / К. Д. Арабаджи, А. Д. Бурменский // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 46-й научно-технической конференции студентов и аспирантов. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2016. – С. 28-30.

УДК 004:656

Воронков Игорь Олегович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Voronkov Igor Olegovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Красильникова Ольга Алексеевна, кандидат технических наук, декан факультета авиационной и морской техники, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Krasilnikova Olga Alekseevna, Candidate of Engineering Sciences, Dean of the Faculty of Aviation and Marine Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

## **THE INTRODUCTION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES**

Аннотация. Рассмотрены структура системы и технология блокчейн, ее особенности и преимущества при работе с распределенными ресурсами. Описаны опыт и перспективы использования технологии блокчейн в транспортно-логистических системах, возможности ее применения при внешних и внутривозовских перевозках грузов промышленных предприятий.



Abstract. The structure of the system and blockchain technology, its features and advantages when working with distributed resources are considered. The experience and prospects of using blockchain technology in transport and logistics systems, the possibilities of its application in external and internal cargo transportation of industrial enterprises are described.

Ключевые слова: блокчейн, база данных, смарт-контракты, информационная система, транспортно-логистические процессы, цепь поставок.

Key words: blockchain, database, smart contracts, information system, transport and logistics processes, supply chain.

### **Введение**

В современных условиях, в век глобальной цифровизации, когда стремительно развивается рынок товаров и услуг, растет конкурентоспособность транспортных предприятий, перед транспортно-логистическими компаниями возникают новые задачи.

Цифровые технологии, в свою очередь, помогают управлять закупками и цепочками поставок, оптимизировать хранение, а также передавать информацию о движении грузов и передаче товарно-материальных ценностей от продавца к покупателю тем, для кого эта информация предназначена [1].

Современная логистика меняется под влиянием множества факторов. Повышаются требования потребителей в скорости, качества и прозрачности процессов. В новых условиях экономическая конкурентоспособность страны и предприятий будет определяться наличием интеллектуальных транспортных и логистических систем.

Чтобы соответствовать реалии, необходимо стремиться к максимальной оптимизации логистических процессов, а это невозможно без внедрения цифровых технологий в транспортно-логистические процессы.

### **Основная часть**

Можно выделить несколько наиболее эффективных цифровых технологий, внедрение которых является неотъемлемой частью развития транспортно-логистических компаний, это: Большие данные (Big Data), Блокчейн (Blockchain) и Системы управления складом (Warehouse Management System).

Остановимся на одной из них.

Блокчейн – это децентрализованная база данных, часто называемая электронной таблицей или цифровой книгой, которую поддерживает и обновляет сеть участвующих в ней узлов (компьютеров).

Говоря о достоинствах блокчейна, необходимо отметить такой способ его использования, как смарт-контракты. По существу смарт-контракт – это закодированный контракт, дополненный четко прописанным алгоритмом реализации его условий. Смарт-контракт загружается в блокчейн. Записанная в контракте логика договорных отношений, лишенная каких бы то ни было неопределенностей и двусмысленностей, реализуется блокчейном автоматически в соответствии с условиями договора при выполнении сторонами своих обязательств в полном объеме, т.е. программа смарт-контракта запускается удаленно через блокчейн при выполнении заданных условий. Возможны некоторые дополнения к контракту, например, ввод нескольких цифровых подписей для одобрения сделки участниками или зависимость от некоторых реальных данных, мониторинг и поверку которых выполняют системы, называемые «оракулами».

Блокчейн идеально подходит для работы с распределенным в пространстве и во времени ресурсом, и именно поэтому одной из перспективных сфер эффективного применения технологии блокчейн являются транспортно-логистические системы и цепи поставок. Для транспортно-логистической системы характерно большое число участников перевозки: производители товара; грузоотправители и грузополучатели; экспедиторы; перевозчики каждого из взаимодействующих видов транспорта; собственники подвижного состава и складов; таможенники и декларанты; инстанции, проверяющие и удостоверяющие качество перевозимого продукта; финансовые органы и

др. В этих условиях документальное оформление перевозки чрезвычайно сложно, многоэтапно, связано с затратами времени и во многих случаях превосходит по стоимости физическое перемещение груза более чем в 2 раза [2]. Кроме того, из-за отсутствия прозрачности в цепочке поставок получатель не может быть уверен в истинном месте и времени производства товара, его качественных характеристиках, обоснованной стоимости, отсутствии контрафакта и т.п., не говоря уже о возможности отклонений от запланированного графика перевозок в любом месте маршрута [3].

По мнению экспертов [2], несовершенство бизнес-процессов, связанных с цепочками поставок, и возникающие при этом барьеры приводят к потерям, не меньшим 5 % ВВП. Большая часть этих проблем может быть решена на основе блокчейна, когда каждый из участников транспортной цепочки вносит свою проверяемую и неизменяемую информацию в общую информационную базу: о времени и месте выполнения каждой операции – от производства товара до его получения конечным потребителем, о пунктах хранения, о сертификатах качества и состоянии товара, о транспортных средствах и перевозчиках, о взаиморасчетах и др.

Сама архитектура блокчейна обеспечивает основные преимущества этой технологии: прозрачность, в том числе для клиентов и для аудита, безопасность, автономность (отсутствие стороннего регулятора); достигается сокращение документооборота благодаря доступности всей информации для всех участников, исключая необходимость переписки; невозможность подделки или изменения ранее введенных данных; защищенность от взломов и кибератак, поскольку информация хранится во многих компьютерах; онлайн контроль процесса транспортировки и хранения груза на всех его стадиях, т.е. полная информация о его местонахождении и состоянии; снижение стоимости перевозки за счет исключения многочисленных посредников; ускорение передачи и обработки данных, что во многих случаях приводит и к ускорению процесса перевозки.

#### **Заключение**

Блокчейн сам по себе не оптимизирует управление транспортным процессом, но он, помимо собственной эффективности, создает простую, полную и достоверную информационную базу, анализ которой позволяет принимать решения по оптимизации перевозок.

Будущее логистики не представляется без внедрения инновационных технологий в процесс управления потоками. Сегодня очень важно идти в ногу со временем, чтобы создавать такие условия, при которых повышается оперативность, экономическая эффективность бизнес-процессов, цепочек поставок, чтобы соответствовать требованиям современного общества.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Волкова, А. А. Эволюция цифровых технологий, используемых в логистике / А. А. Волкова, Ю. А. Никитин, В. А. Плотников // *Управленческое консультирование*. – 2022. – № 1 (157). – С. 76-83.
2. Арифджанова, Н. З. Логистические принципы организации и управления транспортной системой / Н. З. Арифджанова, Р. Р. У. Мусаев // *Проблемы современной науки и образования*. – 2021. – №. 5-1 (162). – С. 22-25.
3. Шульмина, А. И. Цифровизация в логистике / А. И. Шульмина // *Экономика и бизнес: теория и практика*. – 2020. – №. 12-3. – С. 220-223.

УДК 621.525.1

Герасимов Антон Гаврильевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Gerasimov Anton Gavrilievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кривенко Марина Юрьевна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Marina Yuryevna Krivenko, Postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПЫТНЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

### MANUFACTURING TECHNOLOGY OF EXPERIMENTAL IMPELLERS OF AVIATION FUEL CENTRIFUGAL PUMPS

Аннотация. Статья посвящена технологии изготовления опытных рабочих колес мало-размерных центробежных насосов с применением станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Abstract. The article is devoted to the technology of manufacturing experimental impellers of small-sized centrifugal pumps using machine tools with numerical control (CNC).

Ключевые слова: рабочее колесо, центробежный насос, ЧПУ, технологический процесс, лопасти.

Key words: impeller, centrifugal pump, CNC, technological process, blades.

#### Введение

Современный самолёт в составе топливной и гидравлической систем имеет множество насосов, которые обеспечивают подачу рабочего тела в систему. Большую часть насосов топливной системы составляют лопаточные насосы, в частности, центробежные, основным элементом которого, является рабочее колесо (РК). РК представляет собой диск с лопатками, профиль которых сформирован цилиндрической образующей (рисунок 1). Вращение РК с большой скоростью под воздействием центробежных сил приводит к большим внутренним напряжениям, потому РК должно иметь достаточную прочность и совершенные аэродинамические формы проточной части для получения высокого КПД установки и от качества его изготовления зависит эффективность и надежность работы всей системы.

#### Классификация рабочих колес

Различные варианты конструктивных решений объясняются многообразием технических и эксплуатационных требований, предъявляемых к конструкциям машин.

Рабочие колеса делятся на три конструктивно-гидродинамические группы (рисунок 1):

- закрытой конструкции: состоит из лопаток, основного и покрывного дисков;
- полукрытой конструкции: состоит из лопаток и основного диска;
- открытой конструкции: имеет только лопатки с ребрами жёсткости, а основной и покрывной диски отсутствуют;



Закрытая конструкция

Открытая конструкция

Полукрытая конструкция

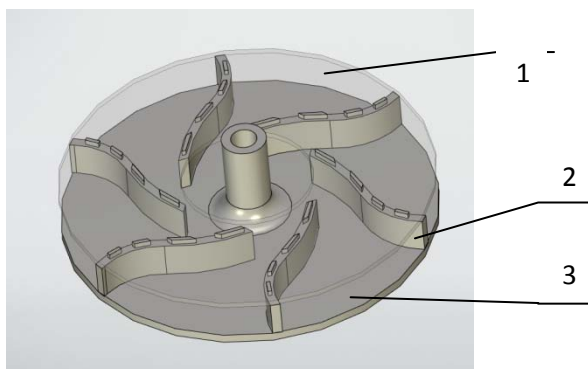
1 – покрывной диск; 2 – основной диск; 3 – лопасти; 4 – ребра жесткости

Рисунок 1 – Конструктивно-гидродинамические группы рабочих колес

При производстве РК различных технологических групп отличаются их технологические процессы, используемые оборудования и устройства.

Способ повышения энергетической эффективности центробежного насоса (ЦН) лежит в улучшении гидродинамики течения через его проточные каналы. В особенности, за счёт снижения интенсивности парного вихря и уменьшения размеров отрывных зон. Достигается это за счёт совершенствования геометрии РК на основе теоретических и экспериментальных исследований.

На рисунке 2 показана нетиповая геометрия каналов РК за счёт применения S-образных лопаток, которые увеличивают степень закрутки потока, что также увеличивает коэффициента напора. РК содержит покрывной диск, изготовленный из прозрачного материала (оргстекло) с целью визуализации потока рабочего тела.



1 – прозрачный покрывной диск; 2 – S-образные лопатки с выступами для закрепления покрывного диска; 3 – основной диск

Рисунок 2 – Модель рабочего колеса

Применение станка с системой ЧПУ для изготовления данной конструкции позволяет достичь высокой точности обработки материалов и эффективно управлять параметрами производства.

#### Технологический процесс изготовления рабочего колеса

Блок-схема разработки технологического процесса для использования СЧПУ представлена на рисунке 3.

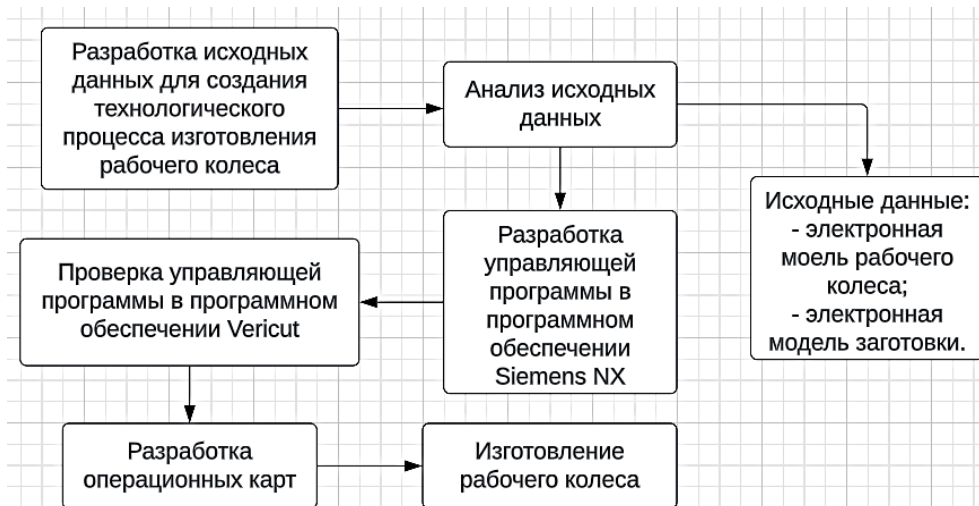


Рисунок 3 – Блок-схема разработки технологического процесса

Для получения основного диска РК, определяем две установки обработки заготовки: 1-я установка – сверху, 2-я установка – снизу.

На рисунке 4 представлена блок-схема ТП изготовления основного диска РК 1-й установки. Основные операции установки состоят в операции предварительного и окончательного фрезерования и сверления межлопаточного пространства.

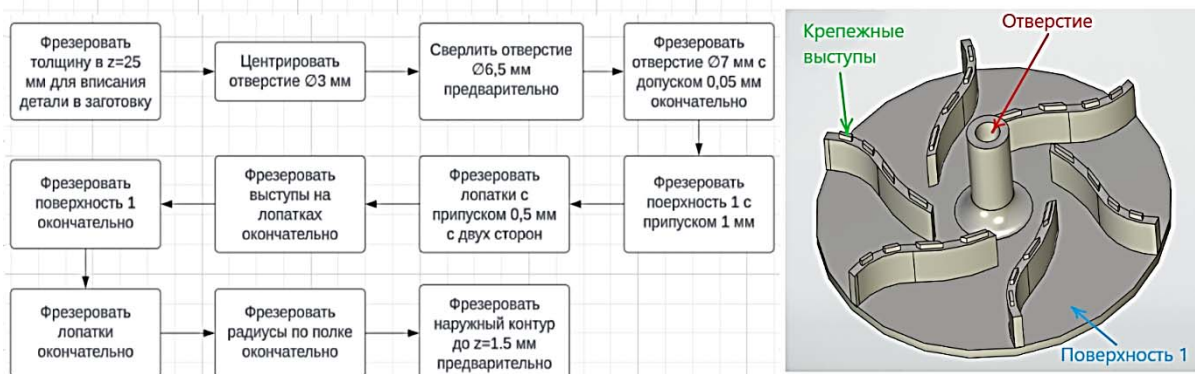


Рисунок 4 – Блок-схема технологического процесса 1-й установки

Блок-схема ТП 2-й установки содержит в себе операции по фрезерованию паза и окончательной вырезки основного диска РК (рисунок 5).

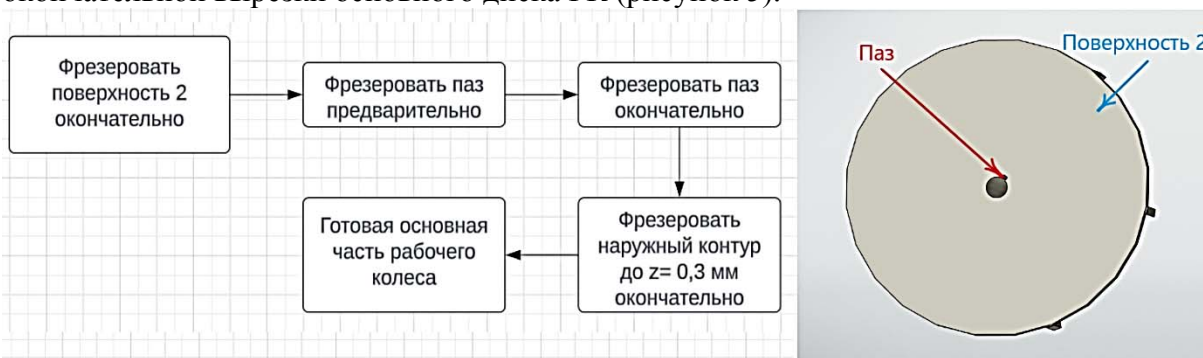


Рисунок 5 – Блок-схема технологического процесса 2-й установки

Блок-схема ТП изготовления покрывного диска из оргстекла представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Блок-схема технологического процесса изготовления покрывного диска

На рисунке 7 представлена блок-схема сборки РК.

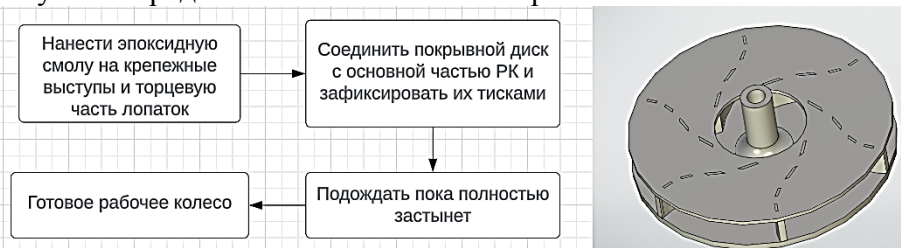


Рисунок 7 – Блок-схема сборки РК

Главными задачами, решаемыми с помощью моделирования являются: повышение точности, снижение трудоемкости изготовления изделия, исключение влияния «человеческого» фактора. Созданная модель может применяться для проведения оптимизации ЦН, где используются РК с цилиндрическими лопатками.

## **Заключение**

Таким образом, изготовление РК на станках с ЧПУ имеет следующие преимущества:

- точность изготовления;
- гибкость настройки;
- автоматизация и высокая производительность.

По сравнению со станками с ЧПУ способ получения готовой детали РК литьем имеет следующие недостатки:

- возможные дефекты (пустоты, трещины);
- большие финансовые и временные затраты на подготовку формы для литья;
- сложность базирования покрывного диска относительно лопаток при сборке РК.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Трофимова А.А. Рабочее колесо центробежного насоса [Электронный ресурс]: [https://yandex.ru/patents/doc/RU190999U1\\_20190718](https://yandex.ru/patents/doc/RU190999U1_20190718) / Акционерное общество (АО) "Научно-исследовательский институт "Лопастных машин" ("НИИ ЛМ") / RU190999U1, Дата публикации: 18.07.2019.

2. Веселов В.И. Рабочее колесо центробежного насоса, [Электронный ресурс]: [https://yandex.ru/patents/doc/SU1731999A1\\_19920507](https://yandex.ru/patents/doc/SU1731999A1_19920507). Авторское свидетельство СССР N 714053, кл. F 04 D 29/22, 1978.

УДК 629.542.2

Гой Ольга Александровна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Goy Olga Aleksandrovna, 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

## **АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ СМЕШАННОГО РЕКА-МОРЕ ПЛАВАНИЯ**

### **ANALYSIS OF DESIGN CHARACTERISTICS DRY CARGO VESSELS OF MIXED RIVER-SEA NAVIGATION**

Аннотация. В данной статье рассмотрены проектные характеристики сухогрузных судов, которые предназначены для плавания по морским и речным водным путям. Проведен статистический и регрессионный анализ основных характеристик сухогрузных судов. Графически отображены статистические данные. Получены регрессионные зависимости разных видов. Сделаны выводы о возможности применения полученных зависимостей.

Abstract. This article considers the design characteristics of dry cargo ships, which are intended for navigation on sea and river waterways. Statistical and regression analysis of the main characteristics of dry cargo ships was carried out. Statistical data are graphically displayed. Regression dependencies of different types were obtained. Conclusions are drawn about the possibility of application of the obtained dependencies.

Ключевые слова: сухогрузные судна, проектные характеристики, функциональные зависимости, регрессионный анализ.

Key words: dry cargo vessel, design characteristics, functional dependencies, regression analysis.

## Введение

На ранних стадиях проектирования, причем не только сухогрузных судов смешанного плавания, но и абсолютно всех существующих судов, необходимо обоснованно выбирать основные характеристики. Если рассмотреть проекты сухогрузных судов ранних построек, то можно увидеть, что они значительно отличаются по своим характеристикам от современных. Это отличие не только в размерах судов, но и в архитектурно-конструкционных особенностях.

Характеристики для расчетов при проектировании собирают и анализируют при обработке прототипов судов, близких по основным характеристикам к проектным. Для этих целей можно использовать несколько типов обработки результатов. В данной работе представлен регрессионный анализ, на основе которого получены функциональные зависимости.

## Проектные характеристики сухогрузных судов

Проекты судов, выбранные для статистического анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Проекты судов

№ п/п	Проект судна	Год постройки	Проектант / строитель
1	1557, тип Сормовский	1986	Завод «Красное Сормово»
2	488/AM4	1990	Estaleiros Navais de Viana do Castelo (Португалия, г. Виана-ду-Каштелу)
3	05074A, тип «Волжский»	1991	ЦКБ «Вымпел» / Судостроительный завод «Ока»
4	10535, тип Иртыш	1996	Arminius Werke GmbH / Schiffswerft und Maschinenfabrik Cassens GmbH (Германия)
5	16530, тип Рыбинск	1999	ЦКБ «Вымпел» / ООО «Верфь братьев Нобель», г. Рыбинск
6	01010, тип «Валдай»	2003	КБ «Вымпел» / «Северная верфь»
7	003RSD04	2004	ООО «Морское Инженерное бюро» / Seksan Shipyard Ltd, г. Стамбул (Турция)
8	006RSD05	2006	ООО «Морское Инженерное бюро», (г. Одесса) / ОАО «Волгоградский ССЗ»
9	RSD12	2008	ООО «Морское Инженерное бюро-СПб» / Gelibolu Shipyard (Турция)
10	RSD19	2008	ООО «Морское Инженерное бюро», (г. Одесса) / ОАО «Волгоградский ССЗ»
11	006RSD02	2008	ООО «Морское Инженерное бюро» (г. Одесса) / ОАО «Окская Судоверфь», г. Навашино
12	005RSD03	2008	ООО «Морское Инженерное бюро», (г. Одесса) / ООО «Онежский ССЗ»
13	007RSD07	2009	ООО «Морское Инженерное бюро-СПб» / ОАО «Волгоградский ССЗ»
14	RSD08	2011	ООО «Морское Инженерное бюро», (г. Одесса) / Tianjin Xingang Shipbuilding Heavy Industry Co Ltd (Китай)
15	00101, тип «Русич»	2012	КБ «Вымпел» / Saigon Shipbuilding Industry, г. Хошимин (Сайгон)
16	RSD49	2013	ООО «Морское Инженерное бюро-СПб» / ООО «Невский ССЗ»
17	RSD60	2017	ООО «Морское Инженерное бюро-СПб» / ООО «Балаковский ССЗ»
18	RSD59	2017	ООО «Морское Инженерное бюро-СПб» / ООО «Невский ССЗ»
19	RSD32M	2019	ООО «Морское Инженерное бюро-СПб» / ОАО «Окская Судоверфь», г. Навашино
20	Тип Kiowa	2020	Jiangsu Dajin Heavy Industry Co Ltd, г. Янчжун (Китай)

Результаты собранной информации по проектным характеристикам сухогрузных судов смешанного река-море плавания представлены в таблице 2. [1-6]

Таблица 2 – Анализируемые проектные характеристики

№ п/п	Проект судна	DW, т (в море /в реке)	L, м	B, м	H, м	v, уз	N, кВт
1	1557, тип Сормовский	3174 / 2970	114,2	13,20	5,5	10,4	970
2	488/AM4	3721 / 2792	118,8	13,2	6	10,5	1280
3	05074А, тип «Волжский»	4323 / 3314	118,7	13,4	6	10	1766
4	10535, тип Иртыш	2913 / 1996	88,35	12,65	5,7	10,9	1300
5	16530, тип Рыбинск	3290 / 2507	116	13,64	6,2	10,5	1800
6	01010, тип «Валдай»	5190 / 3855	128,2	16,74	6,1	11	2280
7	003RSD04	3756 / 2584	89,73	15,9	5,75	11	1290
8	006RSD05	6970 / 4580	139,63	16,7	6	10,5	2240
9	RSD12	8023 / 5003	142	18,2	6	10,5	3040
10	RSD19	7004 / 4596	139,95	16,5	6	10,5	2400
11	006RSD02	7094 / 4696	139,63	16,7	6	10,5	2300
12	005RSD03	6917 / 4803	140,87	16,5	5,5	10	2040
13	007RSD07	7215 / 4778	139,99	16,7	6	10,5	2240
14	RSD08	3800 / 3300	107,6	14,8	5	10	1100
15	00101, тип «Русич»	5460 / 3855	128,2	16,74	6,1	11	2280
16	RSD49	7154 / 4518	139,95	16,5	6	11,5	2400
17	RSD60	4608 / 2705	118,97	13,22	5,8	10	1632
18	RSD59	8144 / 5320	140,88	16,98	6	10,2	2400
19	RSD32M	6221 / 3838	123,17	16,75	5,5	10	2220
20	Тип Kiowa	7912 / 5215	140,9	17	6	11	2060

В таблице 2 приняты следующие обозначения характеристик судов: DW – дедвейт, L – длина, B – ширина, H – высота борта, v – скорость, N – мощность главного двигателя.

Для регрессионного анализа были выбраны следующие функциональные зависимости:

- длина судна в зависимости от дедвейта  $L = f(DW)$ ;
- ширина судна в зависимости от дедвейта  $B = f(DW)$ ;
- высота борта судна в зависимости от дедвейта  $H = f(DW)$ ;
- мощность главного двигателя судна в зависимости от значения произведения дедвейта и скорости  $N = f(DW * v)$ .

Примеры полученных функциональных зависимостей в результате регрессионного анализа на рисунках 1 и 2.



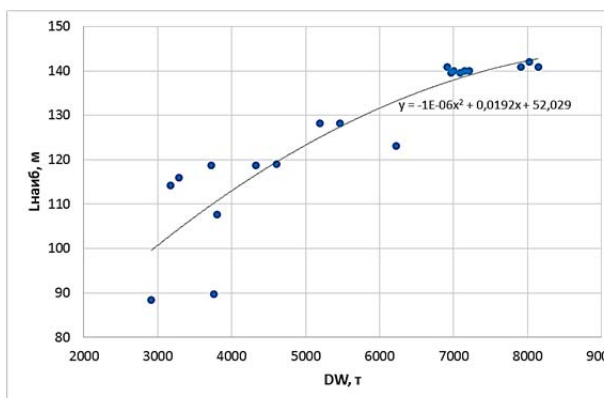


Рисунок 1 – График регрессии зависимости  $L = f(DW)$

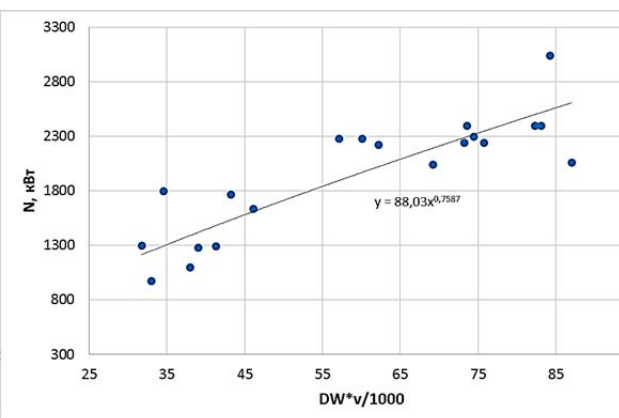


Рисунок 2 – График регрессии зависимости  $N = f(DW * v)$

### Заключение

В работе получены следующие зависимости: длины судна от дедвейта, ширины судна от дедвейта, высоты борта судна от дедвейта, мощность главного двигателя судна от значения произведения дедвейта и скорости.

Полученные зависимости судов-прототипов на начальных этапах проектирования используют при решении таких уравнений, как плавучести судна, его устойчивости, ходкости.

Обработка данных регрессионным анализом позволила получить необходимые расчетные характеристики в виде функциональных зависимостей.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Fleetphoto.ru : Водный транспорт : справочно-информационный портал. – Раздел сайта «Типы и проекты судов», подраздел «Универсальные/генгруз». – URL: <https://fleetphoto.ru/projects/61/> (дата обращения: 11.04.2024).
2. Евдокимов, Г. П. Суда смешанного река-море плавания российских и зарубежных судовладельцев : справочник / Г. П. Евдокимов, Н. А. Высоцкая ; Союз российских судовладельцев, Центральный науч.-исслед. и проектно-конструкторский ин-т морского флота. – Санкт-Петербург : ЦНИИМФ, 2012. – 434 с.
3. Егоров, Г. В. «Сверхполные» многоцелевые сухогрузные суда «Волго-Дон макс» класса проекта RSD59 типа «Пола Макария» / Г. В. Егоров, В. И. Тонюк // Морской вестник. – 2018. – № 4(68). – С. 17-24.
4. Егоров, Г. В. Двенадцать многоцелевых сухогрузных судов дедвейтом 5500 т проекта 005RSD03 типа «Россиянин» / Г. В. Егоров, В. И. Тонюк // Судостроение. – 2015. – № 1(818). – С. 9-16.
5. Егоров, Г. В. Отечественные сухогрузные суда ограниченных районов плавания. Анализ существующего, нового и перспективного флота / Г. В. Егоров, А. Г. Егоров // Морской вестник. – 2020. – № 4(76). – С. 13-21.

УДК 629.7.01

Груздев Александр Сергеевич, аспирант, Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет

Gruzdev Aleksandr Sergeevich, postgraduate student, Irkutsk National Research Technical University

Падурарь Илья Олегович, студент, Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет

Padurar Ilya Olegovich, student, Irkutsk National Research Technical University

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МЕСТНЫХ ПОТЕРЬ В ТРУБОПРОВОДНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ АВИАЦИОННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

### **DETERMINING OF LOCAL LOSS COEFFICIENT IN PIPELINE FITTINGS OF AVIATION HYDRAULIC SYSTEMS BASED ON A VIRTUAL ANALYSIS**

Аннотация. В статье изучена возможность применения виртуальных экспериментов в программном комплексе FloEFD определения коэффициентов местных потерь в типовых элементах трубопроводной арматуры. Эксперименты на типовых элементах проводились с целью проведения верификации метода. По результатам статьи получены картины распределения потоков внутри исследуемых соединителей, значения коэффициентов местных потерь и сделаны выводы о возможности применения виртуальных экспериментов для решения подобных задач, в том числе для соединителей нестандартной конфигурации.

Abstract. The article examines the possibility of using virtual experiments in the FloEFD software package to determine local loss coefficients in typical elements of pipeline fittings. Experiments on standard elements were carried out to verify the method. Based on the results of the article, pictures of the distribution of flows inside the studied connectors, values of local loss coefficients were obtained, and conclusions were drawn about the possibility of using virtual experiments to solve similar problems, including for connectors of non-standard configuration.

Ключевые слова: гидравлическая система, местные потери, виртуальный эксперимент  
Key words: hydraulic system, local losses, virtual experiment

#### **Введение**

Особенности авиационных гидравлических систем заключаются в строгости предъявляемых требований (герметичность класса «А» и т.д.), высоких рабочих давлениях, плотных монтажах (необходимости размещать трубопроводы близко друг к другу с минимальными зазорами в виду ограниченности доступных пространств), сложной пространственной трассировке, и, как следствие, необходимости применения нестандартных элементов соединительной арматуры [1]. В виду этого, всё чаще поднимается вопрос о необходимости определения параметров системы на этапе ее эскизного проектирования, то есть когда известна только принципиальная схема в базовом варианте и основная функция системы.

На этапах эскизного проектирования для определения конфигурации системы необходимо учесть влияние местных потерь, однако в справочной литературе приводятся значения лишь для типовых гидравлических соединителей. В таком случае для определения коэффициентов местных потерь можно использовать виртуальные эксперименты.

В настоящей работе авторами статьи рассмотрен вопрос возможности определения коэффициента местных потерь в элементах трубопроводной арматуры авиационных гидравлических систем на основе виртуального эксперимента.

### Основная часть

Местными потерями напора называют затраты удельной механической энергии, обусловленные работой сил трения и вихреобразованием, в результате преодоления потоком жидкости местного сопротивления [2]. Местные потери вызывают изменение скорости по величине и направлению в отдельных участках трубопровода, зависят от геометрии элемента и выражаются по формуле Вейсбаха:

$$h_{\xi} = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

где,  $\xi$  – коэффициент местных сопротивлений,  
 $v$  – средняя скорость (среднерасходная скорость).

Коэффициент местных потерь показывает количество скоростных напоров, затрачиваемых на преодоление какого-либо местного сопротивления [3]. В местном сопротивлении потери механической энергии при движении потока через него превращаются в тепловую энергию.

В профильной литературе [2] для типовых элементов соединительной гидроарматуры приведены справочные значения коэффициента местных потерь, однако, справочные значения для нетиповых элементов отсутствуют. Коэффициенты местных сопротивлений, как правило, находят опытным путем.

Виртуальные эксперименты проводились в программном комплексе FloEFD для Siemens NX. С целью определения достоверности выбранного метода были выполнены верификационные расчеты – поставлены виртуальные эксперименты для элементов с известным коэффициентом местного сопротивления. Таковыми стали угольники: 90° и 45°.

Результаты расчета представлены в таблице 1. Картины распределения потока с раскраской по скорости изображены на рисунке 1 для угольника 90°, на рисунке 2 для угольника 45°.

Таблица 1 – Результаты гидродинамического расчета в программном комплексе FloEFD

Наименование параметра	Единицы измерения	Значение
Угольник 90°		
Давление на выходе	Па	100415,95
Разность давлений на входе и выходе	Па	11062,32
Потери напора	м.в.ст	1,33
Угольник 45°		
Давление на выходе	Па	105347,52
Разность давлений на входе и выходе	Па	7504,65
Потери напора	м.в.ст	0,9

По результатам верификационного эксперимента видно, что отклонение полученных данных от данных из профильной литературы [3, 4] составляет не более 10%, что позволяет сделать вывод о возможности использования выбранного метода для дальнейшего исследования.

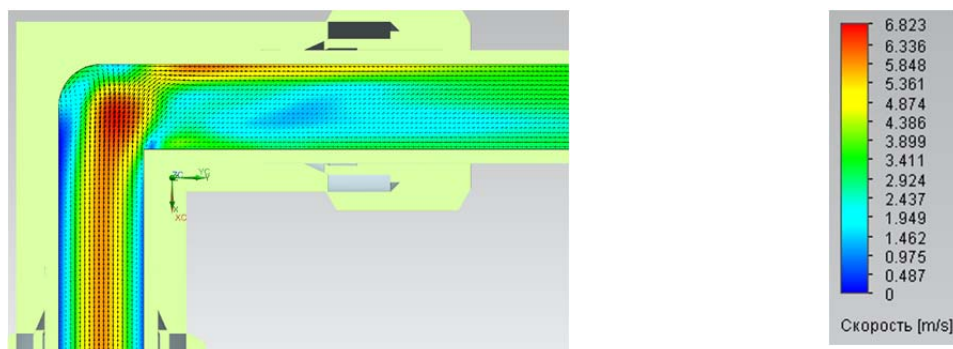
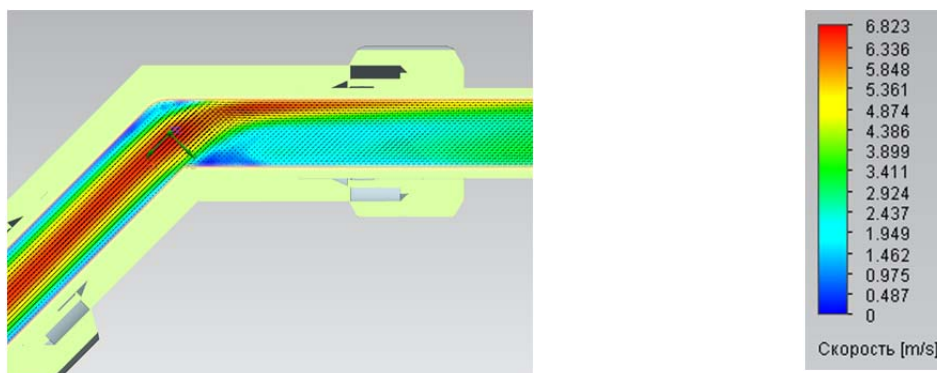


Рисунок 1 – Картины распределения скоростей потока в сечении угольника 90°



б)

Рисунок 2 – Картины распределения скоростей потока в сечении угольника 45°

### Заключение

Таким образом, по результатам выполненного исследования можно сделать вывод о возможности использования методики виртуальных экспериментов для определения коэффициентов местных гидравлических сопротивлений нестандартных элементов гидравлических соединителей. К преимуществам предлагаемого метода можно отнести:

- 1) Возможность проводить любое количество экспериментов в короткие сроки, используя возможность программного обеспечения по распараллеливанию расчетов;
- 2) Возможность получения дополнительной информации о характере протекающих процессов;

Среди недостатков использования виртуальных экспериментов можно выделить:

- 1) Сильную зависимость результатов эксперимента от качества расчетной модели;
- 2) Длительное время подготовки моделей к расчету.

Результаты проведенного исследования могут использоваться для оптимизации конструкции гидравлических авиационных систем на этапе схемного проектирования, позволяя принимать в расчет информацию о характере и величине местных потерь при выборе оптимальных параметров гидравлических систем, как это показано, например в [5].

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Башта Г. М., Никитин Г. А., Комаров А. А. Гидравлические и пневматические устройства летательных аппаратов: (Курс лекций). — Киев, 1967. — Т. 1. — 170 с.
2. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. 4-е изд. – 1972.
3. Ильина Т. Н. Основы гидравлического расчета инженерных сетей. – 2005.
4. П. Спышнов. А. Шнееров. Справочник по внутренним водопроводу, канализации и водостокам. 1954 г.
5. Бобарика, И. О. Методика оптимизации гидросистемы на этапе эскизного проектирования с помощью генетического алгоритма NSGA-II / И. О. Бобарика, А. С. Груздев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2023. – № 2. – С. 140-147.

УДК 629.423.3

Евтеев Никита Сергеевич, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Ростовский государственный университет путей сообщения

Evteev Nikita Sergeevich, graduate student of the department “Wagons and carriage industry”, Rostov State Transport University

Мирошниченко Екатерина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав», Ростовский государственный университет путей сообщения

Miroshnichenko Ekaterina Evgenievna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department “Traction Rolling Stock”, Rostov State Transport University

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В КАЧЕСТВЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ**

### **PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF SWITCHED RELUCTANCE ELECTRICAL MACHINES AS AUXILIARY MACHINES ON ELECTRIC LOCOMOTIVES**

Аннотация. В работе рассмотрены особенности вспомогательного привода электровоза переменного тока на основе асинхронной электрической машины (АЭМ). Проведен анализ причин отказов маслонасосов тяговых трансформаторов (ТТ). По результатам анализа построена диаграмма Парето. Установлено, что большинство отказов электровозов связано с выходом из строя АЭМ по причине высокой чувствительности к напряжению питания. С целью повышения надежности и ресурса работы вспомогательного привода предложено взамен АЭМ использовать вентильно-индукторную машину (ВИМ).

Abstract. The article considers features of auxiliary drive of an AC electric locomotive on the basis of asynchronous electric machine (AEM). The analysis of the causes of failures of oil pumps of traction transformers (TT) is carried out. Based on the results of the analysis, a Pareto diagram was constructed. It has been established that most of the failures of electric locomotives are due to failure of the AEM due to high sensitivity to the voltage of the power supply. In order to increase the reliability and service life of the auxiliary drive, a switched reluctance machine (SRM) is proposed to replace the AEM.

Ключевые слова: электровоз, тяговый трансформатор, асинхронная электрическая машина, вспомогательный привод, вентильно-индукторная электрическая машина.

Key words: electric locomotive, traction transformer, asynchronous electric machine, auxiliary drive, switched reluctance electric machine.

#### **Введение**

Проектирование нового перспективного электрического подвижного состава (ЭПС), а также разработка и внедрение проектов по модернизации действующего ЭПС являются одними из основных направлений развития отрасли железнодорожного транспорта. Большое значение в проектно-конструкторских бюро во время создания новых и модернизации эксплуатируемых локомотивов уделяется поиску, разработке и внедрению технологических решений по увеличению срока службы, а также времени работы до отказа основных узлов и агрегатов.

Рассмотрим действующие и произведём поиск новых энергоэффективных электромеханических преобразователей, выполняющих функции вспомогательных электрических машин (ВЭМ) электровозов, с низкой стоимостью изготовления и высокой эксплуатационной надежностью для потенциального проекта по модернизации действующего ЭПС. Так, в качестве ВЭМ на электровозах переменного тока довольно широко применяются асинхронные двигатели (АД). Они представляют собой трехфазные электрические машины с короткозамкнутым ротором.

## Основная часть

С целью преобразования переменного напряжения из однофазного в трехфазное обычно используются вращающиеся, либо конденсаторные фазорасщепители [1]. Однако, около 20% от общего количества отказов современных электровозов приходится на отказы, связанные с выходом из строя асинхронных вспомогательных машины. Процент отказов возрастает с ростом скоростей движения, а также массы ЭПС.

Во время движения электровозов по перегонам, периодически отмечается резкое падение напряжения контактной сети до  $-39\%$  и скачки до  $+25\%$  [1], что значительно превышает допустимые отклонения в нормальной работе АД. Это может быть связано с профилем пути, интенсивностью движения, когда несколько электровозов попадают на один фидер. Следовательно, вспомогательные асинхронные машины (ВАМ) чувствительны к перепадам напряжения питания. Так, его падение при выходе из фазорасщепителя может привести к фазовому сдвигу напряжений и тока, а значит, возрастанию интервала времени пуска электрической машины. Тогда, статорные обмотки перегреваются, что влечет за собой сокращение ресурса работы изоляционных материалов.

Увеличенное время запуска двигателя также приводит к продолжительному скольжению, из-за чего перегревается и выплавляется ротор, происходит выкипание смазки и заклинивание подшипников [1]. В высоковольтных камерах и трансформаторном помещении электровозов переменного тока используется плотная компоновка силового оборудования, а также отсутствует теплоизоляция, из-за чего температура внутри трансформаторного помещения в летний период может достигать до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Такие непростые условия работы приводят к нарушению условий охлаждения двигателей, провоцирует перегрев и ускоренное старение изоляции [1].

В качестве примера, в работе рассмотрен маслонасос ТТ. В его состав входят трехфазный АД с короткозамкнутым ротором, а также центробежный насос одноступенчатый (рисунок 1). Тяговый трансформатор и маслонасосом вместе составляют единый блок. Согласно анализу литературных источников, определены основные причины отказов маслонасосов ТТ за один календарный год. Результаты представлены в виде диаграммы Парето (рисунок 2). Анализ данных показывает, что большинство отказов маслонасосов ТТ типа 4ТТ-63/10, 1ТТ-63/10 и ЭЦТ-63/10 в расчете на единицу приходится на АД. Это объясняется тем, что данные вспомогательные машины перегреваются в связи с тяжёлыми условиями работы при контакте с агрессивной средой и вибрационными воздействиями.

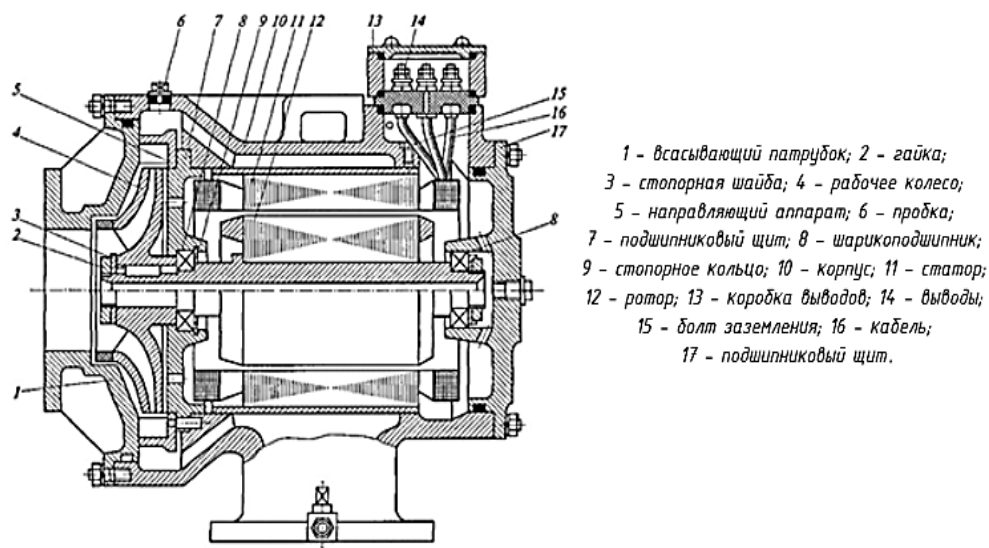
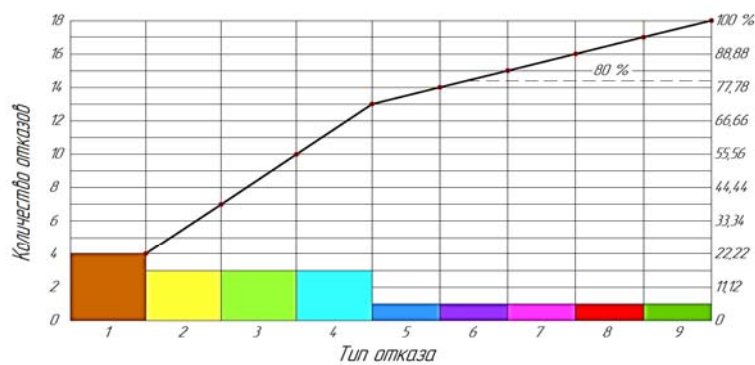


Рисунок 1 – Электронасос 4ТТ-63/10 в разрезе [3]



1 – межвитковое замыкание обмоток; 2 – пробой изоляции обмоток маслonaсоса; 3 – короткое замыкание статорной обмотки; 4 – излом вала ротора маслonaсоса; 5 – выплывание ротора маслonaсоса; 6 – проворот ротора маслonaсоса; 7 – низкое сопротивление изоляции; 8 – разрушение подшипника маслonaсоса; 9 – посторонний шум при работе маслonaсоса.

Рисунок 2 – Диаграмма Парето по видам отказов маслonaсосов тягового трансформатора

Для решения данной проблемы в качестве электромеханического преобразователя предлагается использовать ВИМ. Данный тип машин способен работать в агрессивных условиях среды, которые характерны работе электровоза в разных регионах нашей страны. По сравнению с АЭМ, широко применяемой на электровозах, ВИМ обладает более высоким КПД. Фазы ВИМ между собой гальванически не связаны, что делает ее существенно надежнее АЭМ, так как при выходе одной из фаз ВИМ будет продолжать работу с частичной потерей мощности. Обмотки фаз ВИМ сосредоточенного типа, что дает возможность их замены без ремонтного оборудования и специальных инструментов [4, 5]. Потому, конструкция электронасосов позволяет извлечь АД, а вместо него установить в корпус насоса ВИМ.

### Заключение

На основании проведенного анализа особенностей конструкции и работы ВИД заключено, что данные электрические машины превосходят АД по ряду характеристик. Поэтому, при разработке новых локомотивов, а также модернизации эксплуатируемого ЭПС следует рассмотреть возможность применения вспомогательного привода вентиляльно-индукторного типа. Использование ВИМ в составе вспомогательных электроприводов позволит улучшить энергетические характеристики локомотивов, повысить надежность и ресурс работы основных элементов и узлов.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, П. Ю. Эксплуатационные особенности работы асинхронных вспомогательных машин электровозов переменного тока на ВСЖД / П. Ю. Иванов, Е. Ю. Дульский, А. И. Романовский // Известия транссиба. – №4(24). – 2015. – С. 27-33.
2. Куренков, А. С. Комплексные изменения конструкции и обслуживания асинхронных вспомогательных машин тяговых электроприводов электровозов переменного тока : специальность 2.9.3 “Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация” : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Куренков Алексей Семенович. – Москва, 2023. – 24 с.
3. Грищенко, А. В. Электрические машины и преобразователи подвижного состава: учебник / А. В. Грищенко, В. В. Стрекопытов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 320 с.
4. Мирошниченко, Е.Е. Высоконадежный вентиляльно-индукторный двигатель для системы тягового электропривода железнодорожного подвижного состава / Е. Е. Мирошниченко // Омский научный вестник. – 2023. – № 4 (188). – С. 70–76.
5. Петрушин, А. Д. Моделирование вентиляльно-индукторного электродвигателя при неравномерном воздушном зазоре / А. Д. Петрушин // Известия вузов. Электромеханика. – 2023. – Т. 66. – № 4. – С. 40–45.

УДК 629.7.016

Жарченко Елена Викторовна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zharchenko Elena Viktorovna, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Кувшинов Савелий Александрович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuvshinov Savely Alexandrovich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Бобков Александр Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Bobkov Alexander Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

## ПРОБЛЕМЫ БАЛАНСИРОВКИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

### PROBLEMS OF BALANCING SMALL-SIZED AIRCRAFT

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы балансировки летательных аппаратов самолётно-го типа при миниатюризации их конструкции. Тема актуальна для разработчиков малоразмерных летательных аппаратов.

Abstract. The article discusses the problems of balancing aircraft-type aircraft when miniaturizing their design. The topic is relevant for developers of small aircraft.

Ключевые слова: малоразмерный летательный аппарат самолётно-го типа, устойчивость, аэродинамическая схема.

Key words: small-sized aircraft type aircraft, stability, aerodynamic design.

Снижение числа Рейнольдса  $Re$  до неавтомоделных значений и трёхмерность обтекания конструкции существенно влияют на несущие способности летательного аппарата (ЛА), внося изменения в силовое поле, учитываемое в схемах его балансировки при выборе аэродинамической схемы. При разработке малоразмерных летательных аппаратов (МЛА) самолётно-го типа геометрическое масштабирование известных полно-размерных конструкций, из-за нелинейной зависимости между геометрическими и лётно-техническими параметрами летательных аппаратов, является неадекватным инструментом проектирования. Снижение несущей способности аэродинамических поверхностей при их миниатюризации требует поиска путей повышения энергетической эффективности аэродинамического принципа создания подъёмной силы. В частности, за счёт снижения балансируемых потерь аэродинамического качества.

В современном мировом авиастроении наиболее распространённой аэродинамической схемой является нормальная схема – с горизонтальным оперением (ГО) позади крыла.

На ЛА самолётно-го типа в полёте действуют: подъёмная сила  $Y$ , сила тяжести  $G$ , сила тяги силовой установки  $P$  и сила лобового сопротивления  $X$  (рисунок 1).

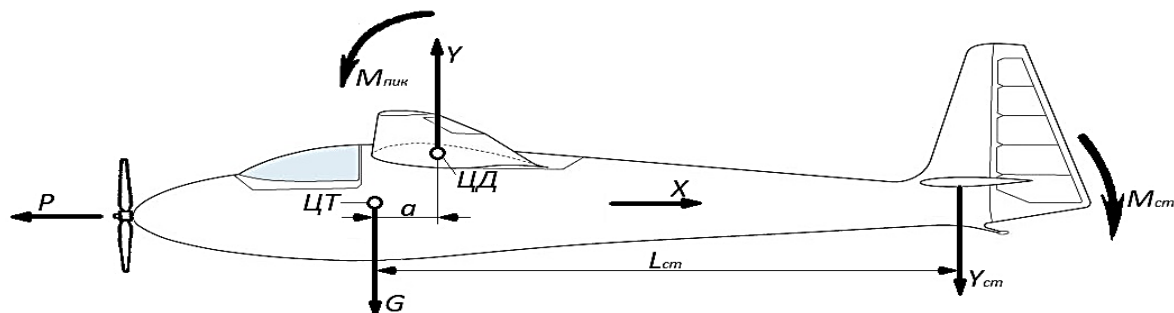


Рисунок 1 – Схема силового поля, действующего на ЛА самолётно-го типа



Относительно центра тяжести (ЦТ) моменты от силы тяжести  $G$ , тяги  $P$  и силы лобового сопротивления  $X$  равны нулю, т.к. плечо приложения этих сил к ЦТ равно нулю. Момент подъёмной силы  $Y$ , приложенной в центре давления (ЦД) через плечо  $L_{ст}$ , стремится развернуть ЛА в сторону пикирования. Компенсацию момента пикирования в нормальной аэродинамической схеме обеспечивают горизонтальным оперением, создающим направленную вниз подъёмную силу  $Y_{ст}$ , момент которой является кабрирующим, по величине равным моменту подъёмной силы крыла [1, 2].

Нормальная аэродинамическая схема имеет важное преимущество — благодаря заднему расположению ГО обеспечивается продольная статическая устойчивость при больших критических углах атаки.

Опыт разработки МЛА самолётного типа показывает, что для выполнения задач на большой высоте и с длительной продолжительностью полёта более подходят аппараты нормальной аэродинамической схемы с механизированным крылом, у которых удельная нагрузка на крыло составляет от 200 до 250 кг/м<sup>2</sup> [4]. При этом относительная масса конструкции ЛА  $\bar{m}_k$ , рассчитываемая по формуле:

$$\bar{m}_k = \bar{m}_{кр} + \bar{m}_ф + \bar{m}_{оп} + \bar{m}_{ш} + \bar{m}_{упр} + \bar{m}_{пн}, \quad (1)$$

где,  $\bar{m}_k$  — относительная масса конструкции планера;

$\bar{m}_{кр}$  — относительная масса крыла;

$\bar{m}_ф$  — относительная масса фюзеляжа;

$\bar{m}_{оп}$  — относительная масса хвостового оперения;

$\bar{m}_{ш}$  — относительная масса шасси;

$\bar{m}_{упр}$  — относительная масса системы управления;

$\bar{m}_{пн}$  — относительная масса полезной нагрузки;

при широком применении композитных материалов, находится в диапазоне от 0,26 до 0,3 (рисунок 2) [4].

Тем не менее нормальная аэродинамическая схема имеет несколько недостатков [3]:

– стабилизатор функционирует в воздушном потоке, который был искажён и замедлен крылом. Из-за этого истинный угол атаки оперения может стать отрицательным, а скорость обтекающего его потока будет меньше, чем у крыла;

– стабилизатор создаёт отрицательную подъёмную силу, что снижает общую подъёмную силу ЛА и увеличивает балансирующие потери аэродинамического качества. Эти потери особенно велики во время посадки и взлёта.



Рисунок 2 – Зависимость относительной массы конструкции МЛА от удельной нагрузки на крыло

Малоразмерные летательные аппараты представляют собой область интереса и активное поле развития в авиационной промышленности. Исследование и разработка такого

класса ЛА в настоящее время приносят инновационные результаты. Они стали более доступными, манёвренными и эффективными. Данные аппараты используются в самых разных отраслях и областях, стимулирующих их дальнейшее развитие и применение.

В качестве способа решения проблемы балансировки МЛА с устранением недостатков нормальной аэродинамической схемы, целесообразно рассмотреть неклассические аэродинамические схемы.

«Утка» – это аэродинамическая схема, у которой стабилизатор размещён перед крылом и ЦТ ЛА. Преимущество такой схемы заключается в обеспечении продольной устойчивости за счёт положительной подъёмной силы, действующей на горизонтальное оперение. Благодаря этому можно существенно увеличить манёвренность и несущие способности, а также улучшить аэродинамическое качество малоразмерных ЛА. Тем не менее если продольная статическая устойчивость присутствует, то эффективность продольного управления МЛА сильно падает при достижении больших критических углов атаки.

«Бесхвостка» — это аэродинамическая схема, у которой нет стабилизатора, а его функции выполняют элероны - плоскости, размещённые на задней кромке крыла и заменяющие элероны и рули высоты. Достоинства данной схемы: минимальная масса конструкции, т.к. отсутствует хвостовая часть фюзеляжа и оперение; уменьшение аэродинамического сопротивления; улучшение манёвренности, потому что конструкция обладает меньшей инерционностью. Недостатком же является поперечная неустойчивость, вызванная изменением положения центра аэродинамического давления относительно центра масс.

«Летающее крыло» – это разновидность схемы «бесхвостка». Здесь роль фюзеляжа играет крыло. Данная компоновка позволяет улучшить аэродинамическое качество при малой массе конструкции. Преимуществом "летающего крыла" являются небольшие коэффициенты сопротивления при нулевой подъёмной силе за счёт отсутствия фюзеляжа и стабилизатора. Стреловидное крыло большого удлинения продольно неустойчиво при больших критических углах атаки из-за отсутствия ГО. Другой недостаток заключается в том, что невозможно достигнуть максимального коэффициента подъёмной силы, поскольку отклонение закрылков в хвостовой части крыла создаёт пикирующий момент, который нельзя уравновесить.

«Тандем» — это аэродинамическая схема, которая состоит из двух крыльев, размещённых друг за другом. Расположение элементов продольного управления определяет сходство этой схемы либо со схемой «утка» (если элементы управления расположены на переднем крыле), либо с нормальной схемой (если элементы управления находятся на заднем крыле). Достоинствами данной схемы являются возможность использования профилей с меньшей относительной толщиной и повышенная поперечная устойчивость. Однако есть и недостаток: необходимо усиливать фюзеляж при работе на кручение.

#### **Благодарности.**

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. Коровин, А. Е. Практическая аэродинамика и динамика полёта самолётов Як-52 и Як-55 / А. Е. Коровин, Ю. Ф. Новиков. – М. : ДОСААФ, 1989. – 357 с.
2. Serokhvastov, S.V. Ways and technologies required for MAV miniaturization / S.V. Serokhvastov // Proceedings of the European Micro Air Vehicle Conference, Braunschweig, Germany, 2008.
3. Соболев, Д. А. Самолёты особых схем / Д. А. Соболев. - М. : Машиностроение, 1985. - 136 с.
4. Трохов, Д. А. Формирование облика высотного беспилотного летательного аппарата воздушной разведки в задачах поиска / Д. А. Трохов, И. К. Туркин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015. - № 11 (221). – С. 106-114.

УДК 621.976.4

Загородний Алексей Евгеньевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Zagorodniy Aleksey Evgenevich, Postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

Марьин Сергей Борисович, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sergey Borisovich Marin, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЖНЕГО С-ОБРАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ КЛЕПАЛЬНОГО АВТОМАТА**

### **DESIGNING A LOWER C-SHAPED TOOL FOR A RIVETING MACHINE**

Аннотация. В данной статье проведен анализ напряженного состояния нижнего клепального инструмента для выполнения высокоресурсных заклепочных соединений в панелях фюзеляжа самолёта SJ-NEW на клепальном автомате.

Annotation. This article analyzes the stress state of the lower riveting tool for performing high-resource riveting joints in the fuselage panels of the SJ-NEW aircraft on a riveting machine.

Ключевые слова: напряженное состояние, нижний инструмент, клепальный автомат, заклепочное соединение, панель фюзеляжа.

Keywords: напряженное состояние, нижний инструмент, клепальный автомат, заклепочное соединение, панель фюзеляжа.

Многолетний опыт эксплуатации авиационной техники и исследования влияния радиального натяга заклепочного соединения потребовали совершенствования технологии изготовления и применения автоматической клепки, значительно повышающей качество выполнения соединений подверженных интенсивным переменным напряжениям. При выполнении заклепочного соединения на клепальном автомате образование замыкающей головки выполняется встречным движением верхней и нижней обжимками пресса при постоянном усилии сжатия пакета прижимами автомата. Это позволяет исключить разборку пакета для удаления стружки и заусенцев, устранить зазор при образовании замыкающей головки заклепки.

Для исключения утяжки и выпуклости обшивки в зоне выполнения заклепочного соединения верхняя обжимка устанавливается на закладную головку заклепки с небольшим усилием, при этом происходит частичное смятие компенсатора заклепки и прогиб пакета. Компенсатор обеспечивает более плотное заполнение зенкованной части отверстия, создание остаточных напряжений сжатия по его конической поверхности, вследствие чего повышается ресурс заклепочного соединения.

Величину прогиба подбирают таким образом, чтобы исключить деформацию панели после клепки. Нижняя обжимка перемещаясь вверх, образует замыкающую головку и продолжается смятие компенсатора. При увеличении усилия сжатия происходит окончательное образование закладной головки, заполнение тела отверстия материалом заклепки и устранение прогиба.

Например, для сборки клепаных панелей фюзеляжа самолета SJ-NEW используется сверлильно-клепальный автомат IPAC фирмы Brotje Automation, Германия. В труднодоступных местах, где закрытые профили панелей, применяется С-образный инструмент для клепки.

Клепальный автомат IPAC фирмы BROTTJE представлен на рисунке 1.

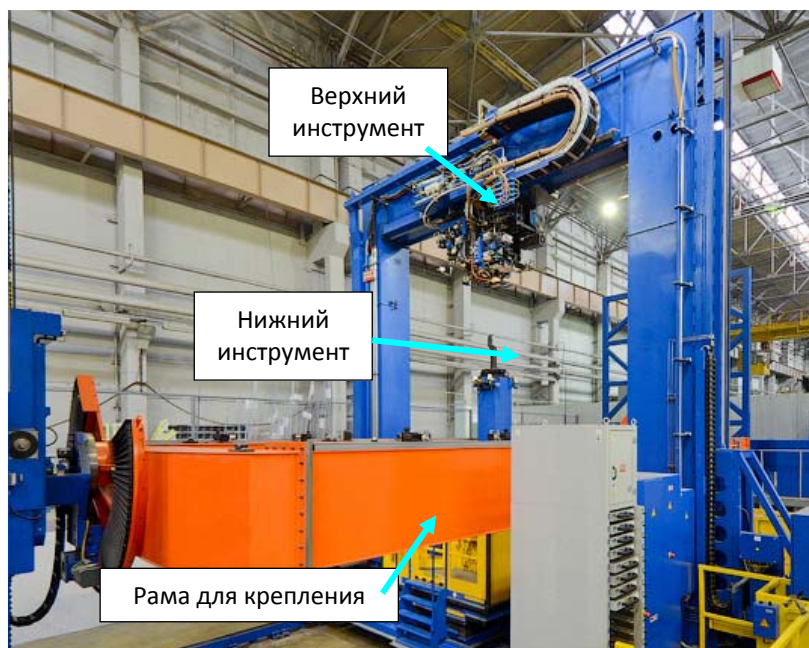


Рисунок 1 – Клепальный автомат IPAC фирмы BROTTJE

Основными элементами клепального автомата, обеспечивающими выполнение заклепочных соединений при сборке панелей фюзеляжа, являются верхний инструмент и нижний инструмент.

Верхний инструмент состоит из узлов и устройств, которые выполняют сверление отверстий, образование гнезд под заклепки, подачу герметика, подачу и установку заклепки в отверстие, осаднение стержня заклепки и формирование закладной и замыкающей головок, и в случае необходимости – их фрезерование.

На платформе нижнего инструмента устанавливается нижний клепальный инструмент. Устройства и механизмы нижнего инструмента обеспечивают движение нижнего клепального инструмента к месту клепки, его вращение и перемещение при выполнении процесса образования заклепочных швов, создают требуемую величину усилия осаднения стержня заклепки.

В зависимости от возможности выполнения заклепочного шва на конкретном участке элемента конструкции могут применяться прямые или изогнутые (С-образные) клепальные инструменты. Их смена в процессе клепки выполняется автоматически.

Основные функции нижнего инструмента:

- фиксация соединяемых деталей;
- осаднение заклепок;
- перемещение в точки, где возможен обход зон с сигналами о сбоях;
- измерение длины зажима и, соответственно, толщины заготовки;
- измерение длины заклепки перед осаднением;
- измерение высоты замыкающей головки.
- контроль усилия осаднения в зависимости от процесса и заклепки;
- контроль усилия зажима.

Оценка напряженного состояния нижнего клепального инструмента проводилась с использованием универсальной программной системы анализа методом конечных элементов ANSYS.

Для анализа была смоделирована трехмерная электронная модель, состоящая из геометрических моделей обжимки, пуансона, и опоры спроектированного нижнего С-образного клепального инструмента.

В качестве усилия нагружения, приложенного в рабочей части обжимки, использовали значение усилия прессования заклепки диаметром 5 мм из материала В65, равное 34,67 кН (3467 кгс).

В качестве материала инструмента был принят сплав 30ХН2МА с механическими характеристиками, взятым согласно справочным данным: модуль упругости  $E = 20802 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ ,  $\mu=0.3$ , предел текучести  $\sigma_T = 80,05 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ , модуль линейного упрочнения  $E_{T1} = 206,76 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ .

Результат конечно-элементного анализа представлен на рисунке 2.

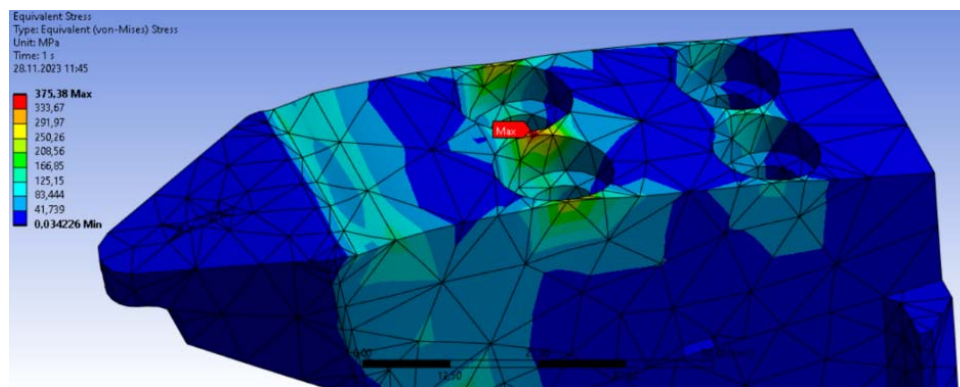


Рисунок 2 – Распределение напряжений в обжимке нижнего С-образного клепального инструмента, МПа

Одним из самых нагруженных элементов клепального автомата является обжимка нижнего С-образного инструмента. Обжимка служит для осаждения стержня заклепки и формообразования замыкающей головки. В настоящий момент в КНАГУ проводятся работы по проектированию нового типа С-образного нижнего инструмента для автоматической клёпки, учитывающего особенности процесса и материалов для увеличения его срока службы.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Современные технологии авиастроения / Коллектив авторов; под ред. А.Г. Братухина, Ю. Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с.
2. Приоритеты авиационных технологий: В 2-х кн. / Науч. ред. А.Г. Братухин. – М.: Изд-во МАИ, 2004. – Кн. 2. 640 с.
3. Людоговский П.Л., Назарычев А.П. Механизация и автоматизация внестопельной сборки авиационных конструкций: учеб. пособие – Казань. Изд-во: Казанск. гос. техн. ун-т. 2008. – 179 с.
4. Марьин, Б. Н. Технологическое обеспечение аэродинамических обводов современного самолета / Б. Н. Марьин, В. И. Меркулов, В. Ф. Кузьмин [и др.]. – М. : Машиностроение, 2001. – 432 с.
5. Ярковец, А. И. Технология выполнения высокоресурсных заклепочных и болтовых соединений в конструкциях самолетов/ А. И. Ярковец, О. С. Сироткин, В. А. Фирсов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1987. – 191 с.

УДК 629.5.018.1

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

## **ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ОПЫТОВЫЙ БАССЕЙН КНАГУ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**

### **HYDRODYNAMIC EXPERIMENTAL TANK KNASU: PRESENT AND FUTURE**

Аннотация. В КНАГУ при кафедре «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг» действует уникальная гидродинамическая лаборатория – опытовый бассейн, самый крупный в системе ВУЗов страны. В статье приведен обзор современного состояния опытового бассейна и его экспериментальных возможностей. В работе также обсуждается концепция модернизации буксировочной системы опытового бассейна.

Abstract. At KnASU, at the Department "Shipbuilding and Computer Engineering", there is a unique hydrodynamic laboratory - an experimental tank, the largest in the system of universities in the country. The article provides an overview of the current state of the experimental tank and its experimental capabilities. The paper also discusses the concept of modernizing the towing system of the experimental tank.

Ключевые слова: опытовый бассейн, буксировочная система, гидродинамика, эксперимент, модернизация.

Key words experimental tank, towing system, hydrodynamics, experiment, modernization.

#### **Введение**

В одной из главных задач процесса проектирования судов является определение мощности главного двигателя, обеспечивающей достижения заданной скорости. Так как в настоящее время не существует математического описания корпуса судна, то эта задача не имеет аналитического решения. На начальных стадиях проектирования судов для оценки мощности энергетической установки используют различные приближенные методы. Но на конечном этапе все рано требуется произвести окончательную проверку ходкости судов наиболее точным методом, которым является эксперимент – численный или физический.

В настоящее время развиваются методы численной гидромеханики, которые позволяют моделировать гидродинамические характеристики судов. Однако следует отметить, что использование численных алгоритмов достаточно трудоемко и требует больших вычислительных ресурсов. Также во многих случаях требуется проверка адекватности численных моделей взаимодействия корпуса судна с водной средой.

Физический модельный эксперимент до сих пор не утратил своей актуальности и является основной частью исследований мореходных качеств судна [1]. Для проведения модельных исследований гидродинамики судов используются специализированные экспериментальные установки - опытовые бассейны различных типов и размеров [2].

## Основная часть

В Комсомольском-на-Амуре государственном университете при кафедре «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг» с 1985 года действует уникальная научная лаборатория «Опытный гидродинамический бассейн». Хотя опытный бассейн КНАГУ и относится к малым опытовым бассейнам (рисунок 1), он является самым большим учебно-научным экспериментальным комплексом в системе вузов России. В опытном бассейне ученые кафедры, сотрудники университета и ученые других ВУЗов Дальневосточного региона проводят научные исследования по оценке эксплуатационных и мореходных качеств объектов океанотехники [3].

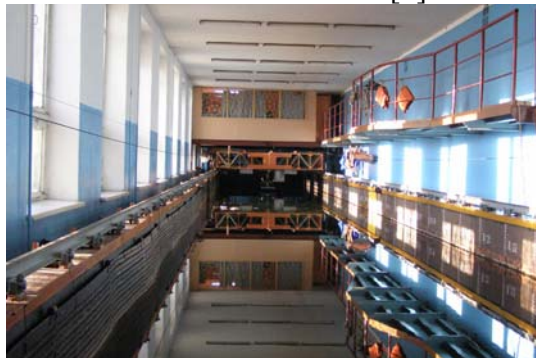


Рисунок 1 – Общий вид опытового бассейна КНАГУ

Экспериментальная лаборатория «Опытный гидродинамический бассейн КНАГУ» состоит из двух участков: экспериментального и модельного

В состав экспериментального участка входят [4]:

- чаша опытового бассейна (размеры 45x4,1x3,25 м), оснащенной вторым дном, волнопродуктором пластинчатого типа и торцевыми волногасителями;
- буксировочная система на основе большой буксируемой тележки, обеспечивающая скорость буксировки моделей от 0.1 до 5 м/с (рисунок 2);
- буксировочная система гравитационного типа (рисунок 3);
- тельфер для обслуживания моделей в доковой части бассейна;
- комплект устройств и контрольно-измерительных приборов, предназначенных для регистрации параметров исследуемых характеристик;
- автоматизированной системой сбора и обработки результатов экспериментов.



Рисунок 2 – Большая буксировочная тележка



Рисунок 3 – Гравитационная буксировочная система

Модельная мастерская оснащена [5]:

- механическим участком с комплектом металлообрабатывающих станков;
- столярный участок с деревообрабатывающим оборудованием;
- стапельный участок, предназначенный окончательной доработки экспериментальных моделей;
- участок 3D-фрезерных станков.

Оснащение модельной мастерской позволяет изготавливать с большой точностью и меньшими затратами времени экспериментальные модели различных размеров и формы корпуса (рисунок 4).



Рисунок 4 – Изготовление моделей на 3D фрезерном станке с ЧПУ

В настоящее время в опытовом бассейне КНАГУ проводятся различные научные исследования в области гидродинамики и гидроупругости. Также опытовый бассейн является учебной базой подготовки магистров и бакалавров для изучения вопросов гидродинамики и ходкости судов.

### **Заключение**

Буксировочные системы опытового бассейна КНАГУ имеют свои достоинства и недостатки. Так большая буксировочная тележка обладает большой массой и соответственно большими инерционными характеристиками. Поэтому она обладает нестабильными режимами движения, особенно на малых и больших скоростях. Размеры тележки и ее конструкция была спроектирована более 30 лет назад и были выбраны с учетом присутствия на ее борту как экспериментально-регистрирующего оборудования, так и самих экспериментаторов.

Опыт эксплуатации гравитационной буксировочной системы показал, что она также имеет достаточно существенные недостатки, и в первую очередь определения внутреннего сопротивления самой системы.

Развитие электронно-технической экспериментальной базы в настоящее время характеризуется маленькими размерами и небольшой массой. Также происходит постепенный переход на дистанционную систему передачи регистрируемых сигналов. Это позволяет перейти на использование в опытовом бассейне малогабаритной безэкипажной буксировочной тележки.

Это делает актуальным разработку для опытового бассейна КНАГУ концептуального проекта малогабаритной буксировочной системы.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Базилевский, Ю. С. Исследование пропульсивных характеристик судов в опытовом бассейне / Ю. С. Базилевский. – Санкт-Петербург : Политехника, 2008. – 229 с.
2. 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.
3. Тарануха, Н. А. Гидродинамический опытовый бассейн КНАГТУ / Н. А. Тарануха, Н. А. Мытник, С. Д. Чижумов, А. Д. Бурменский, А. А. Козлов // Мореходство и морские науки-2009: избранные доклады Второй Сахалинской региональной морской научно-технической конференции – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2010. – С. 231-246.
4. 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.
5. Бурменский, А. Д. Развитие модельной базы Опытного бассейна КНАГТУ / А. Д. Бурменский, А. А. Козлов, Я. А. Шталь // Фундаментальные исследования океанотехники и морской инфраструктуры : Теория. Эксперимент. Практика : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Комсомольск-на-Амуре, 12-16 мая 2015 г. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. – С. 93-95.



УДК 656.025.4

Ким Надежда Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Kim Nadezhda Sergeevna, 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

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРЕВОЗКИ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА ИЗ РОССИИ НА ЭКСПОРТ**

### **ORGANIZATION AND TECHNICAL SUPPORT OF TRANSPORTATION OF VEGETABLE OIL FROM RUSSIA FOR EXPORT**

Аннотация. В работе рассмотрена перевозка растительного масла в бочках в 20-футовых контейнерах из России в Турцию. Дано описание транспортной тары и приведен грузовой план контейнера. Представлено перегрузочное оборудование и перевозочные транспортные средства железнодорожного и морского транспорта. Целью работы является расчет времени доставки растительного масла и стоимости перевозки.

Abstract. The paper considers the transportation of vegetable oil in barrels in 20-foot containers from Russia to Turkey. The description of the transport container is given and the cargo plan of the container is given. Transshipment equipment and transportation vehicles of railway and marine transport are presented. The purpose of the work is to calculate the delivery time of vegetable oil and the cost of transportation.

Ключевые слова: перевозка, экспорт, растительное масло, железнодорожный транспорт, морские перевозки, сквозная тарифная ставка.

Key words: transportation, export, vegetable oil, rail transport, sea transportation, through tariff rate.

#### **Введение**

В 2023 году из России было вывезено на экспорт на 33 % растительного масла больше, чем в 2022 году. Это связано с рекордным урожаем подсолнечника, с растущим спросом на российское масло за рубежом и сохранением экспортных пошлин.

Одним из ведущих производителей подсолнечного масла в мире является Россия. В 2023 году было экспортировано 6,5 миллионов тонн растительного масла, более половины этого объема приходится на подсолнечное масло, то есть внутри страны потребляется масла меньше, чем вывозится на экспорт.

Основными импортерами масла являются Китай, Индия, Алжир и Турция.

Основные производители подсолнечного масла России сосредоточены в трех регионах. Лидером является Центральный Федеральный округ (33,8 % от всего объема), далее идут Южный Федеральный округ и Приволжский Федеральный округ.

К крупнейшим производителям подсолнечного масла в России относятся три компании: «Юг Руси», ГК «Эфко» и «Астон». Половина доли экспорта приходится именно на эти компании.

Одним из производителей растительного масла является завод-изготовитель «Масложиркомбинат Армавирский (МЖК Армавирский)». Предприятие производит прессовое и экстракционное растительное масло, шрот.

Целью работы является рассмотрение транспортной схемы доставки растительного масла из России в Турцию.

#### **Основная часть**

Подсолнечное масло – это один из основных продуктов потребления населения, так как является обязательным компонентом питания человека. Растительное масло – это продукт, который извлекается из различного растительного сырья, например подсолнечника, сои, рапса, оливок, льна и др.

В данной работе рассматривается перевозка растительного масла в бочках. Размеры металлических бочек следующие: высота – 878 мм, диаметр – 585 мм, вес 14,5 кг, толщина металла – 0,8 мм. Бочки выпускают согласно ГОСТ 13950-91 двух видов – с закрытым и открытым верхом.



Рисунок 1 – Общий вид металлической бочки



Рисунок 2 – Общий вид захвата для вилочного погрузчика

На рисунке 1 представлен общий вид металлической бочки.

Вместимость бочки позволяет загрузить двести литров, что в переводе в кг составляет 183 кг, а вес пустой бочки 14,5 кг, тогда общий вес грузовой единицы составит 197,5 кг.

Для наиболее рационального использования весогабаритных характеристик контейнера при перевозке 200-литровых бочек используется 20-футовый контейнер.

В стандартный 20-футовый контейнер (5,90 x 2,35 x 2,39 м) максимально можно разместить восемьдесят бочек диаметром до 586 мм. Бочки загружаются в два яруса вертикально по сорок штук в каждом. В качестве прокладочного материала используются листы фанеры между ярусами.

Общая загруженность 20-футового контейнера 80-ю бочками составляет 15,8 тонн.

Для дополнительной устойчивости, сохранности груза и упрощения разгрузочно-погрузочных операций можно использовать паллеты размером 1140 x 1140 мм. Бочки ставятся на паллеты по четыре штуки и крепятся между собой специальными лентами.

В 20-футовый контейнер можно загрузить 20 паллет в два яруса по четыре бочки на каждом паллете.

Маршрут перевозки масла в бочках следующий: железнодорожная станция Армавир – порт Новороссийск – порт Самсун (Турция).

Железнодорожное расстояние между Армавиром и Новороссийском составляет 337 км. Морское расстояние между портом Новороссийск и портом Самсун составляет 215 миль или 398 км. Весь транспортный путь составит 735 км.

Железнодорожная перевозка 20-футовых контейнеров будет осуществляться на четырехосной фиттинговой платформе 13-297.

Для морской перевозки принимается морское судно КАРТАН АУТАС А с осадкой 9 метров.

В качестве транспортно-перегрузочного оборудования принимается погрузчик TOR FGY25 грузоподъемностью до 2,5 тонн и высотой подъема 6 метров.

В качестве захвата для бочек принимается рычажный захват Forker VC-1. Захваты бочек могут осуществлять её поворот за счёт специального ручного механизма, могут дополнительно оснащаться в зависимости от их вида специальным такелажным крюком, который цепляет груз (рисунок 2).

#### **Заключение**

Общее время доставки растительного масла со станции Армавир до порта Самсун в Турции составляет 7,5 суток, из них 5 суток приходится на перевозку железнодорожным транспортом и 2,5 суток на морской транспорт.

Стоимость перевозки одного 20-футового контейнера с бочками растительного масла в Турцию, включая погрузочно-разгрузочные работы, составляет 100 666,21 рублей, которые включают в себя:

- стоимость перевозки одного контейнера железнодорожным транспортом на маршруте Армавир – Новороссийск (6483,00 рублей);
- стоимость погрузочно-разгрузочных работ в порту Новороссийска (3000 рублей);
- стоимость перевозки одного контейнера морским транспортом на маршруте Новороссийск – Самсун (91183,21 рублей).

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1 Волынец, Н. В. Программное обеспечение для формирования плана оптимальной загрузки контейнеров и транспортных средств / Н. В. Волынец, И. Н. Журбина // 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. Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 189-191.

2 Рябчинский, А. И. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса : учебник для вузов / А. И. Рябчинский, В. А. Гудков, Е. А. Краченко. – М. : Академия, 2013; 2011. – 255с.

3 Момот, З. А. Пути повышения транзитного потенциала России / З. А. Момот, О. А. Красильникова // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 7 – 11 Февраля 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 437-439.

4 Погребенко, Р. Е. Особенности контейнерных перевозок в современных условиях / Р. Е. Погребенко, И. В. Каменских // 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. Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 246-248.

5 Олещенко, Е. М. Основы грузоведения : учебное пособие для вузов / Е. М. Олещенко, А. Э. Горев. – М. : Академия, 2005. – 285 с.

УДК 626.025

Корунова Виктория Сергеевна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Korunova Victoria Sergeevna, 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

#### ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ ЦЕМЕНТА

#### ORGANIZATION OF CEMENT TRANSPORTATION

Аннотация. Представлен результат исследования маршрутов транспортировки цемента в мягких контейнерах от производителя к максимально удаленному потребителю. Рассмотрены особенности организации перевозки различными видами транспорта. Предложен и рассчитан маршрут с учетом развития транспортной инфраструктуры района

(город Якутск). Определены показатели перевозки цемента в мягких контейнерах автомобильным, железнодорожным и морским транспортом.

Abstract. The result of a study of cement transportation routes in soft containers from the manufacturer to the most distant consumer is presented. The features of organizing transportation by various modes of transport are considered. A route was proposed and calculated taking into account the development of the transport infrastructure of the region (the city of Yakutsk). The indicators for transporting cement in soft containers by road, rail and sea transport have been determined.

Ключевые слова: цемент, мягкий контейнер, перевозка, транспорт, новый мост, река Лена.

Key words: cement, soft container, transportation, transport, new bridge, Lena River.

## Введение

Основная цель работы: построение и исследование маршрута доставки продукции предприятия до максимально удаленного потребителя. Необходимо было выявить возможные сложности при формировании маршрута доставки груза. К перевозке предназначен самый «простой» груз, который не требует особых условий транспортировки и специального оборудования для выполнения грузовых операций – цемент в мягких контейнерах. В качестве поставщика выбрано предприятие ОАО ПО «Якутцемент», управляющая компания «Востокцемент» [1]. Расположено предприятие в поселке городского типа Мохсоголлох Хангаласского улуса Республики Саха (Якутия), в 100 км от республиканского центра – города Якутска, выше по реке Лене – важнейшей транспортной артерии республики. Потребитель продукции находится в городе Петропавловске-Камчатском. Наиболее простой маршрут можно проложить по реке Лене, далее по Северному морскому пути до Петропавловска-Камчатского. Но данный маршрут зависит от короткой навигации на реке (120 дней), пропускной способности речных и морских портов, наличия транспортных средств по всему маршруту (речные суда и баржебуксирные составы для транспортировки по реке, морские сухогрузные суда ледового класса и ледоколы – для морской перевозки). Поэтому для исследования предложен маршрут более сложный – автомобильно-железнодорожно-морской.

## Основная часть



Рисунок 1 – Транспортная сеть и проект моста [2, 3]

Существующая транспортная сеть позволяет создать маршрут через реку Лену с привлечением автомобильного и речного транспорта. Перевозка от поселка Мохсоголлох до г. Якутска выполняется автотранспортом (100 км). Из Якутска паромная переправа доставит груз до поселка городского типа Нижний Бестях, далее от пгт. Нижний Бестях автотранспорт пройдет до железнодорожной станции 18 км. С помощью парома можно преодолеть р. Лену примерно за 1 ч. 20 мин. Зимой используется зимник по льду. В межсезонье (весной и осенью) транспортное сообщение замирает. От ст. Нижний Бестях железнодорожный транспорт доставляет груз в порт Владивосток за 18 дней [4]. Линейное судоходство до Петропавловска-Камчатского позволяет доставить груз за

4-6 дней [5]. Сезонность данного маршрута и большое количество перевалок существенно усложняет транспортировку любых грузов. Необходимо рассмотреть альтернативный вариант маршрута. В планах развития транспортной инфраструктуры региона строительство моста через р. Лену в 2021-2028 годы, эксплуатация в 2029-2047 годы [2, 3]. Ленский мост в Якутии – единственный вантовый мост, который будет построен на вечномёрзлых грунтах в регионе с арктическим климатом (рисунок 1).

Первая в самом большом регионе России мостовая переправа через р. Лену позволит соединить Транссибирскую и Байкало-Амурскую магистрали с Северным морским путём, а в перспективе – создать международный транспортный коридор между Европой и Азиатско-Тихоокеанским регионом. Для рассматриваемого маршрута мост позволит создать круглогодичное сообщение между левым и правым берегом. В работе рассмотрен новый маршрут, включающий участок через вантовый Ленский мост. Расстояние от поселка Монсоголлох до железнодорожной станции пгт. Нижний Бестях через вантовый Ленский мост составит 97,6 км. На станции груз передается на железнодорожный транспорт и отправляется до морского порта. Морской участок маршрута пролегает между Владивостокским морским торговым портом, единственным полностью универсальным портом на российском Дальнем Востоке, и морским торговым портом Петропавловском-Камчатским, расположенным на восточном побережье полуострова (протяженность участка маршрута 1404 мили). Навигация в портах осуществляется круглый год.

### **Заключение**

Благодаря мосту через р. Лену маршрут становится круглогодичным и вполне удобным для грузоотправителей и грузополучателей. В перспективе соединение автомобильной и железнодорожной системы позволит разгрузить единственный порт в Ленском бассейне, связанный с железной дорогой – порт Осетрово (г. Усть-Кут), через который проходят грузы для северных районов Иркутской области и Республики Саха (Якутии). При расчете стоимости транспортировки тонны цемента в мягких контейнерах наибольшая доля приходится на перевозку автомобильным транспортом (из-за большого количества рейсов). По длительности перевозки наиболее долгий железнодорожный участок. На грузовые операции по всему маршруту приходится, в общем, до 7 суток. Суммарное время доставки партии груза составляет 29 суток. В результате анализа выявлены особенности транспортной системы, которые необходимо решать на перспективу – обновление речного и морского транспорта, портовой инфраструктуры или развитие железнодорожной магистрали до Петропавловска-Камчатского.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. О компании: сайт. – ОАО «Якутцемент», 2024. – . – URL : <https://yakutcement.ru/> (дата обращения 10.02.2024).
2. Схема мостового перехода через Лену в районе Якутска/ Материалы правительства Якутии. – . – URL : <http://mtdata.ru/u9/photo5BCD/20555621009-0/original.jpg> (дата обращения 10.02.2024).
3. Мостовой переход через р. Лена в районе г. Якутска / ГКУ РС(Я) «ДИРЕКЦИЯ ПОСТРОИТЕЛЬСТВУ ЛЕНСКОГО МОСТА» : сайт. – 2022. – . – URL : <http://mostlena.ru> (дата обращения 10.02.2024).
4. R-Тариф Онлайн : Онлайн-сервис : сайт. – Санкт-Петербург, 2024. – . – URL : <https://r-tariff.com/> (дата обращения: 10.02.2024).
5. Расписание Камчатской линии на первый квартал 2024 года / ООО «Камчатское Морское Пароходство» : сайт. – Каско, «Камчатское Морское Пароходство», 2021-2024. – . – URL : [https://kasco.su/schedule\\_vvo-pkc/](https://kasco.su/schedule_vvo-pkc/) (дата обращения: 10.02.2024).

УДК 629.123

Ло Чэнчжао, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Luo Chengzhao, 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

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУПОГРУЖНЫХ СУДОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ**

### **DESIGN FEATURES OF SEMI-SUBMERSIBLE VESSELS FOR HEAVY CARGO TRANSPORTATION**

Аннотация. В данной работе рассматриваются конструктивные особенности полупогружных транспортных судов, особой категории судов-тяжеловозов, предназначенных для транспортировки крупногабаритных грузов. Компонировка судов рассматривается с точки зрения формы, расположения помещений, систем и оборудования. Приводятся особенности проведения погрузочно-разгрузочных работ полупогружных судов.

Abstract. This paper deals with the design features of semi-submersible transport vessels, a special category of heavy lift vessels designed for transportation of large-size cargoes. Vessel layout is considered in terms of shape, room layout, systems and equipment. The peculiarities of loading and unloading operations of semi-submersible ships are given.

Ключевые слова: полупогружное судно, конструктивные особенности, транспортные возможности, тяжеловесный груз.

Key words: semi-submersible ship, design features, transportation capabilities, heavy cargoes.

#### **Введение**

В настоящее время в отечественном судостроении наблюдается тенденция разработки проектов специализированных судов [1] для транспортировки крупногабаритного особо тяжелого груза (КТГ): нефтяной платформы, морской платформы, плавсредств, технологического оборудования, технологических установок, огромных модулей и прочего совершенно негабаритного груза [2]. Полупогружные суда относятся к категории судов Heavy Lifts для перевозки КТГ с особой технологией погрузки/разгрузки, а именно погружением грузовой палубы под воду на расчетную глубину [3].

Конструкция полупогружных судов довольно специфическая и существенно отличается от конструкции других категорий судов. По внешнему виду полупогружные суда для перевозки КТГ похожи на балкеры, а иногда их путают с нефтеналивными танкерами [4].

#### **Конструктивные особенности полупогружных судов**

Полупогружные суда имеют длинную, широкую и идеально ровную низкую открытую палубу-платформу, на большей части которой отсутствует фальшборт. Леерное ограждение также может отсутствовать совсем, либо может быть съёмным. Для безопасности экипажа во время перемещения вдоль судна имеются коридоры в подпалубном пространстве. Машинное отделение с топливными и вспомогательными цистернами в классическом исполнении судна расположено на уровне верхней палубы.

На судах современной конструкции надстройка расположена в носовой части (рисунок 1). Однако на судах более ранних построек надстройка находится в корме, а грузовая палуба перед ней. У таких судов в носовой части находится небольшая ходовая рубка «дублёр», которая используется в случае затруднения обзора габаритным грузом (рисунок 2). [5]



Рисунок 1 – Надстройка в носовой части судна



Рисунок 2 – Надстройка в кормовой части судна

Жилые и служебные помещения, а также другие вспомогательные помещения, используемые экипажем, расположены в носовой части судна.

В средней части судна под грузовой площадкой находятся системы трубопроводов и балластные отсеки (цистерны). Балластные насосы и оборудование, необходимое для работы судна, находятся в кормовой части.

Полупогружные суда способны во время погрузки погружать под воду грузовую зону, погрузочную палубу, с помощью балластных цистерн, которые заполняются водой (рисунок 3).

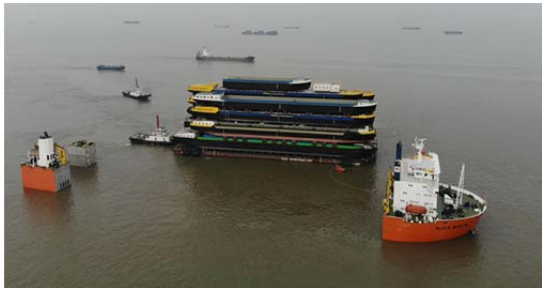


Рисунок 3 – Погружение в воду грузовой зоны



Балластная система способна поддерживать судно ровно без крена и дифферента. Она обеспечивает необходимую остойчивость во время проведения грузовых операций. Такая система имеет высокую степень автоматизации.

После того, как груз установлен в необходимом положении, балластные цистерны откачиваются, и грузовая площадка снова поднимается, принимая на себя всю нагрузку. После всплытия груз крепится для дальнейшей транспортировки.

Ещё одной особенностью является возможность подвести грузовую платформу под груз, который находится на плаву, если это позволяет осадка полупогружного судна. У таких судов также имеется система противовесов, позволяющая перевозить груз с вылетом за борта.

### **Заключение**

Конструктивные особенности судна зависят от его назначения. Так как полупогружное судно предназначено для транспортировки тяжелого негабаритного груза и способно совершать океанские переходы постоянно подвергаясь воздействию характерных гидродинамических нагрузок, то оно имеет очень прочный корпус, представляющий собой цельносварную стальную конструкцию. Такие суда имеют большую осадку, обладают отличной устойчивостью. Высокая технологичность и эксплуатационные характеристики несомненно выделяют эту категорию судов из ряда других.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. rs-class.org : Российский морской регистр судоходства : классификационное общество. – Раздел сайта «Издания РС», подраздел «Правила классификации и постройки морских судов, часть I «Классификация». – URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules> (дата обращения: 28.03.2024).

2. Роменкова, В. А. Современные архитектурно-конструктивные типы судов для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов / В. А. Роменкова, А. Д. Бурменский // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: 06-10 апреля 2020 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – В 3 ч. – Ч. 1 – С. 446-448.

3. Сандревская, К. Н. Анализ проектных характеристик полупогружных транспортных судов / К. Н. Сандревская, К. Д. Овчинников // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 4-1(46). – С. 86-90.

4. Демешко, Г. Ф. Особенности проектирования полупогружных судов / Г. Ф. Демешко, В. Ю. Пазухин, К. Н. Сандревская // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2020. – № 1(391). – С. 109-121.

5. Fleetphoto.ru : Водный транспорт : справочно-информационный портал. – Раздел сайта «Типы и проекты судов», подраздел «Тяжеловозы (полупогружные)». – URL: <https://fleetphoto.ru/projects/7513/> (дата обращения: 28.03.2024).

УДК 629.543

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

## **АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТАНКЕРОВ СРЕДНЕЙ ВМЕСТИМОСТИ**

### **ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF MEDIUM-CAPACITY TANKERS**

Аннотация. Определены предпосылки для создания танкера средней вместимости для Китайской Народной Республики. Рассмотрены главные размерения и технические характеристики танкеров средней вместимости. Выполнен регрессионный анализ проектных характеристик и представлены полученные зависимости. Определены основные параметры и архитектурно-конструктивный тип необходимого танкера-прототипа.

Abstract. The reasons for creating a medium-capacity tanker for the People's Republic of China have been identified. The main dimensions and technical characteristics of medium-capacity tankers are considered. Regression analysis was performed and the resulting dependencies were presented. The main parameters and architectural and structural type of the required prototype tanker have been determined.

Ключевые слова: танкер, главные размерения, регрессионный анализ, архитектурно-конструктивный тип.

Key words: tanker, main dimensions, regression analysis, architectural and structural type.

#### **Введение**

Провинция Гуандун – важный экономический центр на побережье Китайской Народной Республики (КНР), в последние годы интенсивно развивается и имеет высокие показатели по всем отраслям производства. Нефтяные среднетоннажные танкеры играют важную роль в судоходных районах данной провинции, обеспечивают как транспортировку, так и хранение нефти и продуктов нефтепереработки. Танкеры могут



заходить в порты с ограничениями по осадке для крупнотоннажных танкеров, доставлять грузы к месту назначения в короткие сроки. Современный танкер обладает хорошими мореходными характеристиками, оснащен передовым судовым оборудованием, судовые системы обеспечивают безопасность плавания в сложных морских условиях. В то же время нефтяные танкеры среднего размера могут быть спроектированы с учетом особенностей и условий различных морских районов будущей эксплуатации. На основе анализа существующих проектов танкеров средней вместимости в работе необходимо определить диапазоны изменения основных главных размеров судна.

### Основная часть

Архитектурно-конструктивный тип танкеров средней вместимости сложился еще в 70-е годы прошлого века [1]. Танкеры выполняются двухостровными, с кормовым расположением машинного отделения и 5-6 ярусами надстройки. Длина грузовых танков, в большинстве случаев, принимается одинаковой. Носовая часть корпуса имеет бульбообразную форму, корма транцевая. Конструкция корпуса набрана по продольной системе набора, с двойными бортами и двойным дном, с одной продольной и несколькими поперечными гофрированными переборками. Отличительной особенностью конструкции современных танкеров можно отметить стремление сделать поверхность грузовых танков как можно более простой по форме. Для исключения контакта набора корпуса с грузом подпалубный набор вынесен поверх настила верхней палубы [2, 3]. В работе выполнен регрессионный анализ проектных характеристик среднетоннажных танкеров. Объем выборки для анализа составил 20 судов-прототипов, с дедвейтом в диапазоне от 13000 до 50000 т. Поле распределения и график одной из зависимостей показан на рисунке 1.

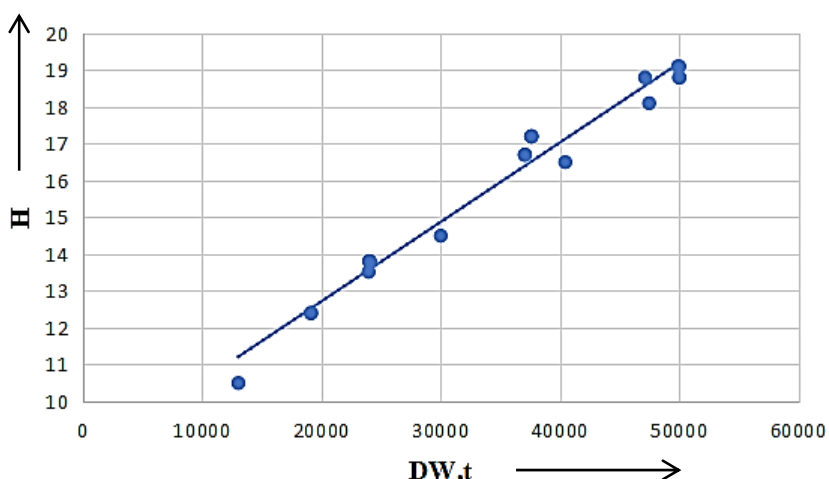


Рисунок 1 – График регрессии зависимости  $H = f(DW)$

В результате регрессионного анализа [4] получены зависимости основных проектных характеристик среднетоннажного танкера от дедвейта:

- длины танкера между перпендикулярами в зависимости от дедвейта

$$L_{pp}(DW) = 0,0007 * \ln(DW) + 142,86;$$

- значения мощности главного двигателя судна от значений дедвейта и скорости

$$N(DW, V) = 413,83(DW * V * 10^{-3})^{0,4825};$$

- высоты борта в зависимости от дедвейта

$$H(DW) = -2 * 10^{-9} * DW^2 + 0,4 * 10^{-3} * DW + 6,1374;$$

- ширины судна в зависимости от дедвейта

$$B(DW) = 9,7376 * \ln(DW) - 73,462.$$

Полученные зависимости позволяют определить возможные комбинации главных размеров танкера для дальнейшего исследования особенностей судов данной специализации, а результаты работы можно рекомендовать для использования в задачах проектирования среднетоннажных танкеров указанного диапазона дедвейта.

## Заключение

Исследование среднетоннажных танкеров в области проектирования, конструкции, прочности позволит найти наиболее оптимальные варианты решений и создать проекты с наилучшими параметрами, востребованными в КНР. Например, в 2023 году в провинции Гуандун создан крупный нефтехимический комплекс “Guangdong Petrochemical”, способный производить 20 видов нефтепродуктов и 200 видов химической продукции [5]. Среднетоннажные танкеры, построенные по современным экологическим требованиям, позволят защитить морскую среду Большого залива Гуандун-Сянган-Аомэнь и положительно повлияют на экономическое развитие провинции Гуандун.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гребенкина, П. А. Развитие архитектурно-конструктивного облика судов нефтеналивного флота / П. А. Гребенкина, И. В. Каменских // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы V Всерос. нац. науч. конф. молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 11-15 апреля 2022 г. : в 4 частях. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2022. – Ч. 2. – С. 199-201.
2. Бронский, А. И. Основы выбора конструкций корпуса судна / А. И. Бронский, М. К. Глозман, В. В. Козляков. – Ленинград : Судостроение, 1974. – 200 с.
3. Гайкович, А. И. Основы теории проектирования сложных технических систем. / А. И. Гайкович. – СПб. : Моринтех, 2001. – 432 с.
4. Гурский, Д. А. Вычисления в MATHCAD 12. / Д. А. Гурский. – С-Пб : Питер, 2006. – 544с.
5. Алифирова, Е. В китайской провинции Гуандун введен в эксплуатацию крупный нефтехимический комплекс / Е. Алифирова // Neftegaz.ru, новости : электронный журнал. – Москва, 2023. – . – URL: <https://neftgaz.ru/news/neftechim/771903-v-kitayskoj-provintsii-guandun-vveden-v-ekspluatatsiyu-krupnyy-neftekhimicheskij-kompleks/>. – Дата публикации: 2 марта 2023.

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 ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ КРЫЛА СКВП РЕЖИМА «ПОСАДКА» ОТ ДЛИНЫ И УГЛА УСТАНОВКИ НОСОВОГО ЩИТКА ОСНОВНОГО ЗВЕНА ДВУХЩЕЛЕВОГО ЗАКРЫЛКА**

## **THE DEPENDENCE OF THE COEFFICIENT OF LIFT OF THE WING STLA OF THE "LANDING" MODE ON THE LENGTH AND ANGLE OF INSTALLATION OF THE NOSE GUARD OF THE MAIN LINK OF THE DOUBLE-SLIT FLAP**

Аннотация. В результате проведения численного эксперимента по вычислению взаимосвязи коэффициента подъемной силы крыла самолёта короткого взлёта и посадки (СКВП) с двухщелевым закрылком посадочной конфигурации от длины и угла установки носового щитка основного звена закрылка в случае различных углах отклонения хвостовой части его подвижной панели.

Abstract. As a result of a numerical experiment to calculate the relationship between the lift coefficient of the wing of a short take-off and landing (STLA) aircraft with a double-slot flap of a landing configuration on the length and angle of installation of the nose flap of the main link of the flap in the case of different angles of deflection of its tail section along -movable panel.

Ключевые слова: крыло самолета короткого взлета и посадки (СКВП), носовой щиток основного звена закрылка, двухщелевой закрылок, подвижная панель основного звена закрылка, длина носового щитка, угол установки щитка, коэффициент подъемной силы. Key words: short take-off and landing (STLA) aircraft wing, nose flap of the main flap link, double-slot flap, movable panel of the main flap link, length of the nose flap, flap installation angle, lift coefficient.

### **Введение**

Важной и актуальной задачей улучшения лётно-технических характеристик воздушного судна является совершенствование взлётно-посадочных характеристик (ВПХ) летательного аппарата, существенно влияющих на безопасность и технику пилотирования данных режимов, а также длину необходимой взлётно-посадочной полосы.

Наиболее рациональным вариантом улучшения ВПХ является использование эффективной механизации, в частности, эффективных щелевых закрылков, способствующих получению высоких значений коэффициента подъемной силы на взлётно-посадочных режимах.

Цель работы – изучение взаимосвязи коэффициента подъемной силы крыла с двухщелевым закрылком от угла установки и длины носового щитка основного звена закрылка. Расчёты проводились с помощью численного эксперимента. Были выполнены аэродинамические вычисления модели отсека крыла с двухщелевым закрылком режима «посадка».

### **Основная часть**

Проанализирован закрылок, состоящий из следующих элементов: основного звена и жестко соединенного с ним дефлектора. Первый аэродинамический канал образуется на взлётно-посадочных режимах между дефлектором и основной частью крыла, второй – между дефлектором и основным звеном двухщелевого закрылка. Отличительной особенностью данного закрылка является наличие жесткой панели, установленной подвижно, по направляющим, на верхней поверхности основного звена.

Изменение положения панели происходит за счет использования роликов, установленных по краям данной панели. При этом панель состоит из двух частей – основной с роликами перемещения и поворотной хвостовой, соединенной шарнирно с основной частью. На крейсерском режиме полета подвижная панель закрылка перекрывает сверху второй аэродинамический канал. При отклонении закрылка, на взлетно-посадочных режимах, на необходимый угол, одновременно подвижная панель смещена по направляющим назад по потоку с выходом её хвостовой части за заднюю кромку закрылка и последующим разворотом на необходимый угол. Причём увеличена дополнительно площадь и кривизна крыла, что способствует дополнительному увеличению подъемной силы на режимах взлета и посадки.

А также, в передней части основного звена закрылка шарнирно установлен щиток, перекрывающий снизу на крейсерском режиме полета аэродинамический канал между основным звеном закрылка и дефлектором, (второй аэродинамический канал), а на взлетно-посадочных режимах повёрнут на некий угол относительно нейтрального положения, увеличивающий эффективность второго аэродинамического канала.

Расчётные данные:

– скорость воздушного потока  $v = 40$  м/с

– угол атаки крыла самолёта  $\alpha = 7^\circ$

– угол отклонения задней части подвижной панели  $\delta_{хв} = 40^\circ; 45^\circ$

– угол отклонения переднего щитка закрылка  $\delta_{щ} = 40^\circ; 45^\circ; 50^\circ$

– относительная длина щитка  $\overline{b_{щ}} = 0,046; 0,050; 0,074$ .

Для проведения численных вычислений коэффициентов подъемной силы режима «посадка» была выполнена цифровая модель отсека крыла СКВП.

На рисунке 1 показана взаимосвязь коэффициента подъемной силы крыла самолета от угла поворота носового щитка закрылков  $\delta_{щ}$  при отклонении хвостовой части подвижной панели на угол  $\delta_{хв} = 40^\circ$  с изменением относительной длины щитка  $\overline{b_{щ}} = 0,074; 0,050; 0,046$ .

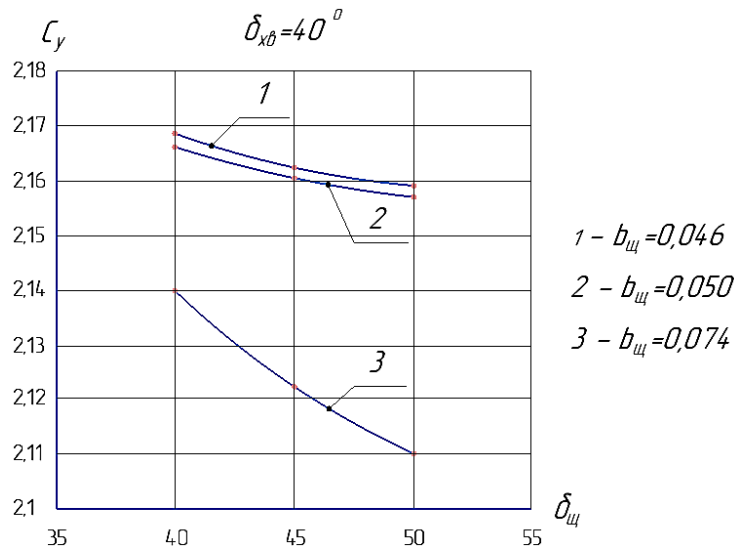


Рисунок 1 – График взаимосвязи коэффициента подъемной силы крыла самолета от угла поворота носового щитка закрылков  $\delta_{щ}$  при отклонении хвостовой части подвижной панели на угол  $\delta_{хв} = 40^\circ$  с изменением относительной длины щитка  $\overline{b_{щ}} = 0,074; 0,050; 0,046$

На рисунке 2 показана взаимосвязь коэффициента подъемной силы крыла самолета от угла поворота носового щитка закрылков  $\delta_{щ}$  при отклонении хвостовой части подвижной панели на угол  $\delta_{хв} = 45^\circ$  с изменением относительной длины щитка  $\overline{b_{щ}} = 0,074; 0,050; 0,046$ .

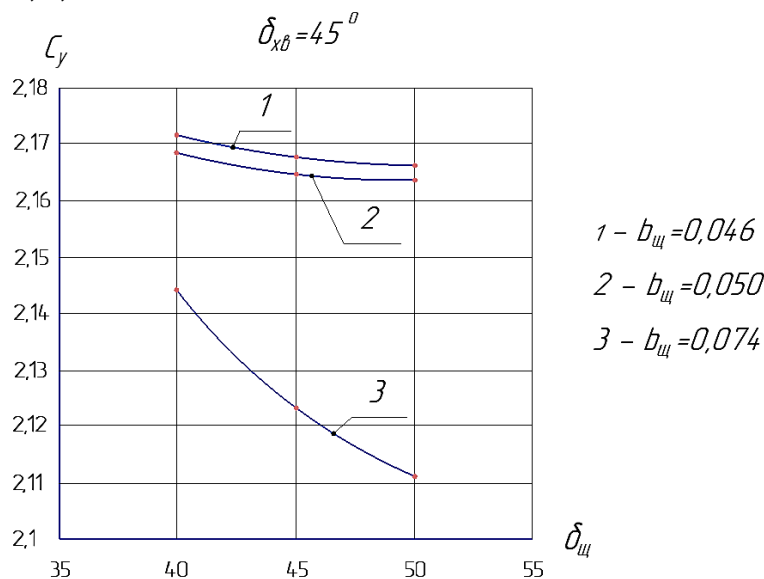


Рисунок 2 – График взаимосвязи коэффициента подъемной силы крыла самолета от угла поворота носового щитка закрылков  $\delta_{щ}$  при отклонении хвостовой части подвижной панели на угол  $\delta_{хв} = 45^\circ$  с изменением относительной длины щитка  $\overline{b_{щ}} = 0,074; 0,050; 0,046$

На рисунке 3 показано распределение давления вокруг профиля крыла посадочной конфигурации при  $\delta_{\text{хв}} = 45^\circ$ ;  $\delta_{\text{щ}} = 40^\circ$ ;  $\overline{b_{\text{щ}}} = 0,046$ .

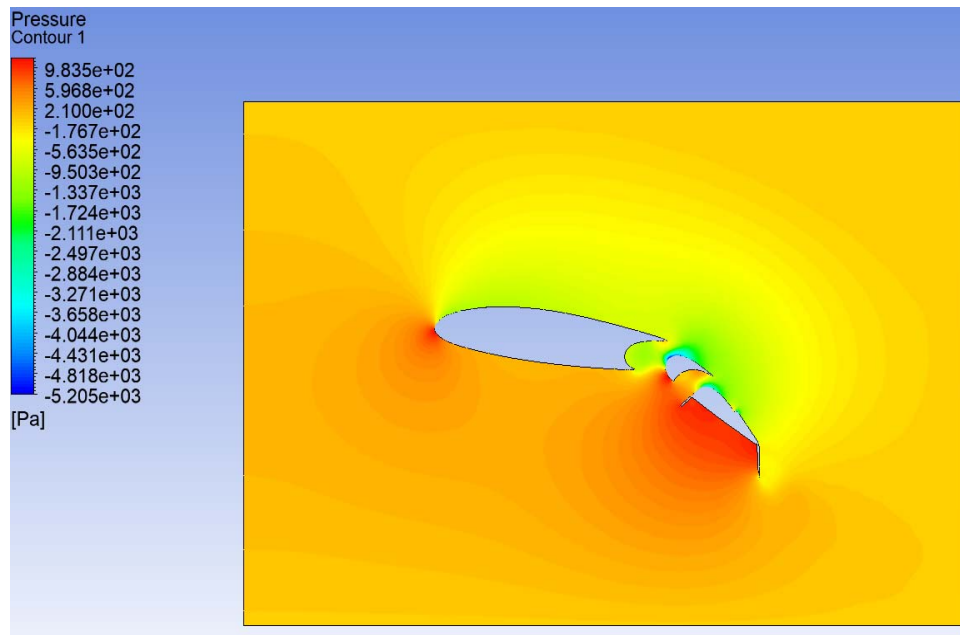


Рисунок 3 – Распределение давления вокруг профиля крыла посадочной конфигурации при  $\delta_{\text{хв}} = 45^\circ$ ;  $\delta_{\text{щ}} = 40^\circ$ ;  $\overline{b_{\text{щ}}} = 0,046$

### Заключение

В результате проведенных расчетов получено, что при отклонении хвостовой части подвижной панели на угол  $\delta_{\text{хв}} = 40^\circ$  при оптимальной в данных расчетах относительной длине носового щитка основного звена закрылка  $\overline{b_{\text{щ}}} = 0,046$ , коэффициент подъемной силы механизированного крыла, с изменением угла отклонения носового щитка от  $\delta_{\text{щ}1} = 50^\circ$  до

$\delta_{\text{щ}3} = 40^\circ$ , увеличивается от  $C_{y1} = 2,159$  до  $C_{y3} = 2,168$ .

При отклонении хвостовой части подвижной панели на угол  $\delta_{\text{хв}} = 45^\circ$ , при относительной длине переднего щитка основного звена закрылка  $\overline{b_{\text{щ}}} = 0,046$ , коэффициент подъемной силы механизированного крыла с изменением угла отклонения переднего щитка от  $\delta_{\text{щ}1} = 50^\circ$  до  $\delta_{\text{щ}3} = 40^\circ$ , увеличивается от  $C_{y1} = 2,167$  до  $C_{y3} = 2,171$ .

Самое большое значение коэффициента подъёмной силы крыла конфигурации «посадка»  $C_y = 2,171$  получено при  $\delta_{\text{хв}} = 45^\circ$ ,  $\delta_{\text{щ}} = 40^\circ$  и  $\overline{b_{\text{щ}}} = 0,046$ .

### 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 629.5.02

Морозов Егор Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Morozov Egor Dmitrievich, 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

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПАС-3D ПРИ РАСЧЕТАХ ПРОЧНОСТИ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **EXPERIENCE IN USING KOMPAS-3D MODELING SYSTEM FOR STRENGTH CALCULATIONS OF SHIP STRUCTURES**

Аннотация. В данной статье проведён прочностной анализ судовой конструкции с помощью приложения APM FEM системы моделирования КОМПАС-3D. Прочностной анализ включает в себя оценку напряженно-деформированного состояния конструкции. Для анализа прочности смоделирована 3D модель днищевой секции в районе машинного отделения. Приложена соответствующая нагрузка в виде давления. Представлены расчётные значения. Сделаны соответствующие выводы.

Abstract. In this paper strength analysis of ship structure is carried out using APM FEM application of KOMPAS-3D modeling system. Strength analysis includes evaluation of stress-strain state of the structure. For strength analysis, a 3D model of the bottom section in the engine room area is modeled. The corresponding load in the form of pressure is applied. The calculated values are presented. Corresponding conclusions are drawn.

Ключевые слова: конструкция судна, система моделирования, численное моделирование, прочностной анализ, напряженно-деформированное состояние.

Key words: ship design, modeling system, numerical modeling, strength analysis, stress-strain state.

#### **Введение**

В настоящее время для расчетов прочности применяются программы, в которых в качестве математического расчетчика выступает метод конечных элементов. Рассмотрим применение приложения APM FEM, интегрированного в программный комплекс КОМПАС-3D, при расчете на прочность днищевой секции [1]. Для расчета был взят проект многофункционального аварийно-спасательного судна ледового класса MPSV 06. Это судно может находиться самостоятельно в ледовых условиях, так как у него повышенный арктический класс, что в свою очередь также повлияло на выбор конструкции для построения модели. Такие суда имеют повышенную надежность, поэтому расчеты напряженно-деформированного состояния их конструкций представляют особый интерес.

Изначально система моделирования КОМПАС-3D разрабатывалась для машиностроительного производства, вследствие этого многие сложные конструктивные элементы, присущие судну или кораблю, в ней не учтены [2, 3]. В настоящее время программа дорабатывается до возможностей применения её в проектных бюро и судостроительном производстве, поэтому выявление слабых мест программы является актуальной задачей. Также интерес представляют возможности проведения прочностного анализ с помощью приложения APM FEM.

#### **Моделирование и расчеты**

Спецификация секции двойного дна в районе машинного отделения аварийно-спасательного судна представлена на рисунке 1.

Лист Б-ПВ-О-8х2000х8000 ГОСТ 5521-93, ГОСТ 19903-74 РС D36 ГОСТ 5521-93, Правила РС	Лист Б-ПВ-О-14х2000х8000 ГОСТ 5521-93, ГОСТ 19903-74 РС D36 ГОСТ 5521-93, Правила РС
Лист Б-ПВ-О-9х2000х8000 ГОСТ 5521-93, ГОСТ 19903-74 РС D36 ГОСТ 5521-93, Правила РС	Лист Б-ПВ-О-15х2000х8000 ГОСТ 5521-93, ГОСТ 19903-74 РС D36 ГОСТ 5521-93, Правила РС
Лист Б-ПВ-О-10х2000х8000 ГОСТ 5521-93, ГОСТ 19903-74 РС D36 ГОСТ 5521-93, Правила РС	Полособульб 14а-8000 ГОСТ21937-76 РС D36 ГОСТ5521-93, Правила РС
Лист Б-ПВ-О-11х2000х8000 ГОСТ 5521-93, ГОСТ 19903-74 РС D36 ГОСТ 5521-93, Правила РС	Полособульб 14б-8000 ГОСТ21937-76 РС D36 ГОСТ5521-93, Правила РС
Лист Б-ПВ-О-12х2000х8000 ГОСТ 5521-93, ГОСТ 19903-74 РС D36 ГОСТ 5521-93, Правила РС	Полособульб 22а-8000 ГОСТ21937-76 РС D36 ГОСТ5521-93, Правила РС

Рисунок 1 – Элементы днищевой секции

Днищевая обшивка создается в отдельной сборке и состоит в данном расчете из 15 пластин (пластины между собой соединены сварным швом). Для построения каждой пластины необходимо использовать поверхностное моделирование с последующим приданием толщины. В процессе создания модели корпуса судна, были смоделированы все составляющие корпусного набора: кильсон, бракета, бракета с пояском, поперечные и продольные ребра жесткости, полособульбы, кницы. Далее к секции достраивается настил двойного дна с приданием ему толщины (рисунок 2).

После того, как секция смоделирована, подключается приложение APM FEM. Для проведения расчетов напряжений и деформации секции двойного устанавливаются закрепления в местах сварки деталей [4, 5]. Следующим шагом происходит разбивка секции на конечные элементы в виде тетраэдеров (наиболее удобный вид конечного элемента для больших и сложных конструкций).

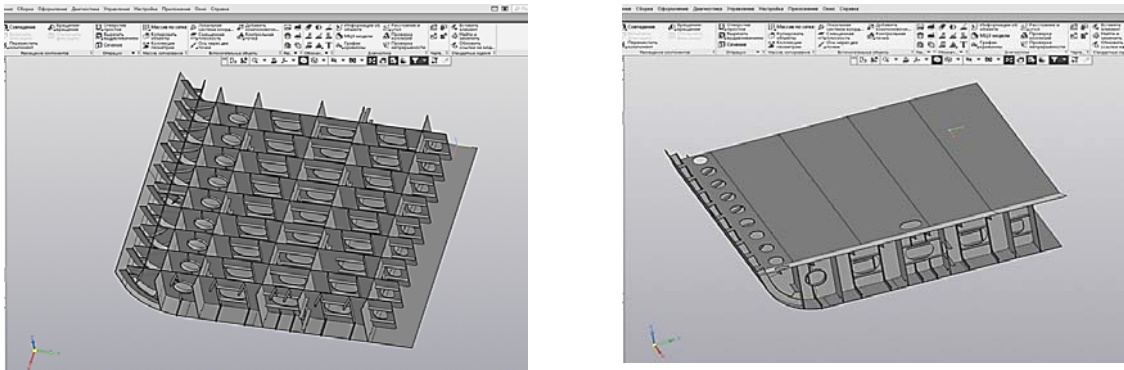


Рисунок 2 – Элементы днищевой секции

Далее задается необходимая нагрузка и проводится расчет напряжений и деформаций, который входит в блок статического расчета. По данным проекта расчетное давление на днищевую обшивку составляет 69,55 кПа. Картины полученных результатов с выводом карт результатов представлены на рисунках 3 и 4.

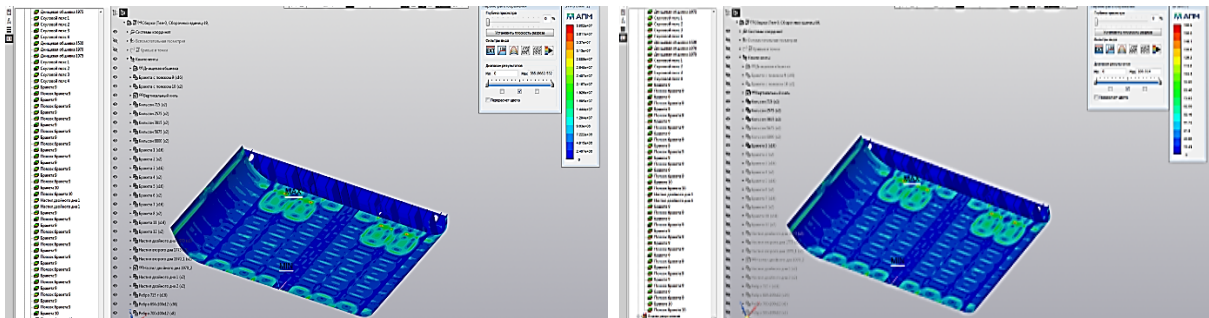


Рисунок 3 – Напряжения

Рисунок 4 – Деформации

## Заключение

Время моделирования судовой конструкции в системе моделирования КОМПАС-3D зависит от многих факторов, а именно: от опыта проектировщика, от возможностей программы, от сроков необходимого по времени моделирования и т.д. Из опыта моделирования и проведения напряженно-деформированного расчета автoрами статьи выявлены следующие проблемы:

- процесс разбиения на конечные элементы в приложении АРМ FEM программного комплекса КОМПАС-3D занимает большой промежуток времени для достаточно больших объектов;

- из-за большого количества деталей в секции очень трудно произвести их закрепление, так как каждую деталь приходится крепить по-отдельности;

- нет готовых деталей для создания brackets. Пришлось создавать пластину, поверх которой (в начале и конце пластины) расположились кницы, затем была проведена булевая операция;

- расчет модели идет очень медленно или же совсем не проходит. Однако, этот фактор, зависит от мощности компьютера-расчетчика;

- сохранение секции (размерами ВхLхН мм: 18900x15100x3200) с расчетами занимает примерно 30~40 минут.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Система прочностного анализа АРМ FEM для КОМПАС-3D // АРМ.ру. – Раздел сайта «Инженерные расчеты для машиностроения и строительства». – URL: <https://arm.ru/arm-fem> (дата обращения: 10.04.2024).

2. Даманский, Д. В. Практическое трёхмерное моделирование судовых корпусных конструкций в системе КОМПАС-3D / Д. В. Даманский, В. А. Ярополов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых : 06-10 апреля 2020 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – В 3 ч. – Ч. 1 – С. 392-394.

3. Даманский, Д. В. Практический опыт использования новых инструментов моделирования судовых конструкций в КОМПАС-3D / Д. В. Даманский, А. Д. Бурменский // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых : 12-16 апреля 2021 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – В 4 ч. – Ч. 1 – С. 232-235.

4. Разработка руководства РС по оценке напряженно-деформированного состояния судовых корпусных конструкций методом конечных элементов / А. А. Петров, Е. А. Морозова, А. В. Соклаков, В. А. Суворов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. – 2020. – № 60-61. – С. 75-83.

5. Файвисович, А. В. Анализ напряженно-деформированного состояния судовых корпусных конструкций / А. В. Файвисович, Р. А. Починков // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 2(39). – С. 64-67.



УДК 629.5.081:004.94

Морозов Егор Дмитриевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Morozov Egor Dmitrievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Айрих Илья Иванович, начальник инженерного управления, ПАО «Амурский судостроительный завод»

Airikh Ilya Ivanovich, Head of Engineering, 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

## **РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СУДНА В РАЗРЕЗЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ**

### **DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF A DIGITAL TWIN OF A SHIP IN THE CONTEXT OF IMPROVING THE PLANNING SYSTEM**

Аннотация. В данной статье рассмотрены такие актуальные вопросы, как возможность внедрения элементов цифрового производства на предприятиях судостроения, в том числе построение цифровой модели судна. Актуальность обоснована необходимостью сокращения цикла строительства судна/корабля, а также уменьшения дополнительных затрат, связанных с наложением объема работ.

Abstract. This article considers such topical issues as the possibility of introducing elements of digital production at shipbuilding enterprises, including the construction of a digital ship model. The relevance is justified by the need to shorten the vessel/ship construction cycle, as well as to reduce additional costs associated with the overlapping scope of work.

Ключевые слова: корпус судна, цифровая модель, система планирования, автоматизация процесса, оптимизация.

Key words: ship's hull, digital model, planning system, process automation, optimization.

#### **Введение**

Опыт большинства судостроительных предприятий показал, что внедрение нового программного обеспечения требует значительных временных и финансовых затрат. Предлагаемая к реализации концепция состоит в доработки существующей системы планирования и создания дополнительного уровня планирования (управления сетью) [1]. В качестве дополнительного уровня планирования используется цифровая (виртуальная) модель, представленная совокупностью объектов, отображающих конструкции судна/корабля. При этом процесс формирования данных конструкции и очередность выполнения работ отражается совокупностью планово-учетных единиц (ПУЕ) и данных отчета (сдачи работ по ПУЕ и закрытия нарядов).

В качестве выработки проектного решения задачи совершенствования системы планирования, в том числе разработке оптимального алгоритма построения взаимосвязей между ПУЕ в сетевых графиках, принимаются определенные предположения и условия.

#### **Проектные решения поставленной задачи**

Для построения цифровой модели судна в разрезе совершенствования процессов планирования и построения связей между ПУЕ используются три категории: объекты, связи, граничные условия. [2]

Объектами управления в принятой концепции выступают:

- корпус судна (совокупность секций);
- помещения судна (ограниченный корпусными конструкциями в пространстве объём);
- система судовая/кабельная трасса (объект, проходящий через несколько помещений).

По результатам проведенной работы построены и реализованы механизмы кодирования конструктивно-технологических элементов (КТЭ) по секциям и помещениям, таблица 1.

Таблица 1 – Пример кодировки КТЭ

РКД	№ помещения	Структура КТЭ				Готовое КТЭ
		Код помещения	Конструктивная группа	Код чертежа	5 знак КТЭ	
Кодирование КТЭ одного чертежа, проходящего по разным помещениям						
-362441-04-XXX1	801	1А	1	1	0	1А110
-362441-04-XXX1	808	1Н	1	1	0	1Н110
-362441-04-XXX1	1012	5К	1	1	0	5К110
Кодирование КТЭ чертежей разных конструктивных групп в пределах одного помещения/поверхности						
-362441-04-XXX1	801	1А	1	1	0	1А110
-362157-04-XXX5	801	1А	А	1	0	1АА10
-362157-04-XX25	801	1А	А	2	0	1АА20
-362157-04-XXX7	801	1А	А	3	0	1АА30
-362334-04-XXX2	801	1А	Т	1	0	1АТ10

На базе информации, содержащейся в составе спецификации на конструкцию изделия (номера помещения) автоматизирован процесс формирования ПУЕ по помещениям. Изменилась очередности формирования ПУЕ.

На выходе получим следующее:

- объект секция – совокупность ПУЕ с КТЭ, закодированные по секциям и формирует корпус судна;
- объект помещения судна – совокупность ПУЕ с КТЭ, закодированные по признаку номера помещения, содержащегося в спецификации чертежа по каждой позиции.
- объект система судовая/кабельная трасса – совокупность ПУЕ с одинаковым номером чертежа, на каждый тип конструкции. Данный тип объекта формируется на более позднем этапе при технической готовности судна 75 % и более. Требуется для подготовки и планирования работ по технологическому этапу «Испытания и сдача».

Концептуальная модель трехуровневого планирования представлена на рисунке 1.

Создание объектов в данной системе управления значительно степени облегчит процесс управления графиками и сократит единицы планирования с 20000-23000 ПУЕ до 500-800 при сохранении гибкости сетевого графика за счет сохранения количества ПУЕ. Система планирования становится четырехуровневой, а с учетом реализации инструмента «сдельного наряда» становится пятиуровневой:

- 3 уровень – объектная модель, управляемая пользователем;
- 4 уровень – сетевая модель, формируемая автоматически и изменяемая в границах объектной модели;
- 5 уровень – внутрицеховое планирование на базе сдельных нарядов, сформированных из ТНК.

Упрощенный пример типового объекта цифровой модели приведен на рисунке 2. Количество ПУЕ входящих в состав объекта может варьироваться от 15 до 180 единиц.

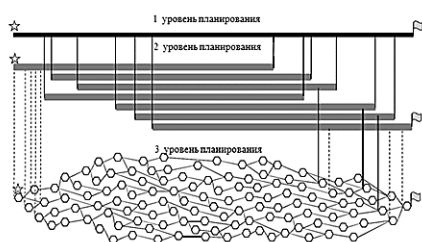


Рисунок 1 – Концептуальная модель

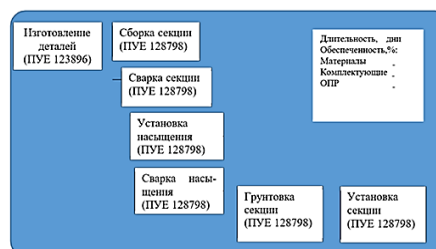


Рисунок 2 – Цифровая модель

Для автоматизации процесса построения связей внутри объектов цифровой модели и взаимосвязки используется связи [3-5]:

- электронные журналы пооперационных приемок;
- электронные удостоверения закрытия построечных документов;
- электронные перечни под испытания, окраску, готовности к монтажу и т.д.;
- типовые альтернативные фрагменты видов работ.

Данная документация разрабатывается в обязательном порядке при проработке чертежа.

Придание подвижности и создание расчетной модели цифрового двойника предполагается обеспечить путем реализации совокупности граничных условий. При их наличии и технологической последовательности выявления ПУЕ (связи в сетевом графике) становится возможным решение задачи поиска критического пути и выравнивания потребления трудовых ресурсов. Планируется реализация в данном проекте следующих граничных условий: временные и организационные ограничения.

### **Заключение**

Предложенную концепцию создания цифровой модели судна/корабля можно признать проработанной и жизнеспособной:

- концепция основана на цифровой базе технологической документации, не противоречит и не увеличивает требования к объему выпускаемой документации относительно нормативной отраслевой документации, что минимизирует риски непринятия со стороны инженерного персонала;
- приводит в соответствии существующие сетевые графики к стандартам сетевого планирования, успешно применяемым в различных отраслях;
- представлена простыми техническими решениями, которые пересекаются и дополняют друг друга, что должно облегчить алгоритм реализации в программном обеспечении;
- предусмотрен механизм в виде базы исключений, который позволяет реагировать на различные внешние факторы, не разрушая общей связи всех работ;
- проработаны и выделены критерии для разработки алгоритмов автоматизации обработки графиков, и как следствие уменьшение нагрузки на пользователей программного обеспечения.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Хмара, Д. С. Основы современного планирования организационно-технологических процессов в судостроении / Д. С. Хмара, А. В. Фирсова, М. А. Шальнов // Судостроение. – 2022. – № 2(861). – С. 53-56.
2. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин [и др.] // Вестник Восточно-Сибирской Открытой Академии. – 2019. – № 32. – С. 2.
3. Воробович, Н. П. Программные методы и средства планирования и управления проектами / Н. П. Воробович, О. Ю. Семенов // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 10(37). – С. 6-11.
4. Замуков, В. В. Внедрение сквозной технологии разработки алгоритмов управления сложными техническими системами объектов ВМФ / В. В. Замуков, И. И. Курдюков, Е. Н. Разуваев // Судостроение. – 2012. – № 2(801). – С. 34-39.
5. Применение информационных технологий при создании судостроительной продукции / О. Г. Соколов, А. М. Плотников, Г. В. Багаев [и др.] // Судостроение. – 2004. – № 5(756). – С. 78-83.

УДК 656.025

Москаленко Александр Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Moskalenko Aleksandr Andreevich, 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

## **ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТАВКИ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ДО НИКОЛАЕВСКА-НА-АМУРЕ**

### **ORGANIZATION AND TECHICAL SUPPORT OF DELIVERY OF WHEELED EQUIPMENT FROM THE MANUFACTURER TO NIKOLAEVSK-ON-AMUR**

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию технологии доставки колесной техники в город Николаевск-на-Амуре. Подробно рассмотрен маршрут и предложено два варианта доставки колесной техники (тягачи КамАЗ-5490). Рассчитаны затраты и время на транспортировку по каждому варианту. Предложены подходы к уменьшению затрат на перевозку.

Abstract. This work is devoted to the study of the technology for delivering wheeled vehicles to the city of Nikolaevsk-on-Amur. The route was examined in detail and two options for the delivery of wheeled vehicles (KAMAZ-5490 tractors) were proposed. The costs and time for transportation for each option are calculated. Approaches to reducing transportation costs are proposed.

Ключевые слова: перевозка, колесная техника, транспортная схема, маршрут, Николаевск-на-Амуре.

Key words: transportation, wheeled vehicles, transport scheme, route, Nikolaevsk-on-Amur.

#### **Введение**

Снижение затрат на транспортировку товаров в удаленные от основных транспортных магистралей города Хабаровского края – основная задача как для транспортников, так и для заказчиков перевозки. Данная проблема исследуется при транспортировке различных грузов, ведется поиск возможных путей для снижения затрат [1]. На территории города Николаевска-на-Амуре осуществляют свою деятельность компании по добыче руд, строительству, лесозаготовке. В данных отраслях наиболее востребованными являются грузовые автомобили и тягачи. Тягачи, сконструированные для буксировки прицепов, полуприцепов и крупногабаритных грузов, задействованы в перевозках широкой номенклатуры грузов по дальневосточному региону. В работе рассмотрена задача по организации транспортировки тягачей в г. Николаевск-на-Амуре. Необходимо было предложить и проанализировать несколько маршрутов доставки, провести расчет времени на транспортировку от завода изготовителя до заказчика, оценить затраты, а также выявить особенности процесса транспортировки, приводящие к росту затрат.

#### **Основная часть**

Рассмотрена организация доставки тягача КамАЗ-5490 [2] от завода ПАО «КамАЗ», расположенного в городе Набережные Челны. Грузовики КАМАЗ удерживают лидирующие позиции на российском рынке, так как обладают отличными эксплуатационными качествами, а также неприхотливостью и приемлемой ценой обслуживания. Из города Набережные Челны до города Николаевска-на-Амуре доставка может быть осуществлена по двум вариантам маршрута. Первый вариант состоит из железнодорожного участка и участка пути по реке Амур. Железнодорожная перевозка пройдет преимущественно по Транссибирской магистрали до Хабаровска (7407 км). Далее от Хабаровска до Николаевска-на-Амуре перевозка выполняется по реке (977 км) баржебуксирным составом Амурского пароходства. Следует отметить, что данный вариант доставки возможен только в период открытой навигации – с

мая по октябрь. Второй вариант маршрута доставки состоит из железнодорожного участка (Набережные Челны – Хабаровск) и участка маршрута, по которому тягач движется своим ходом, автодорога Хабаровск – с. Подгорное (917 км) и далее до Николаевска-на-Амуре. Доставка своим ходом по автодороге может осуществляться круглогодично, но существует одна проблема. Николаевск-на-Амуре расположен на противоположном берегу р. Амур от с. Подгорное, поэтому в летний период используется паромная переправа. В зимний период доставка выполняется по ледовой переправе, организованной также в районе села Подгорное (рисунок 1). В период ледохода и ледостава транспортировка невозможна.

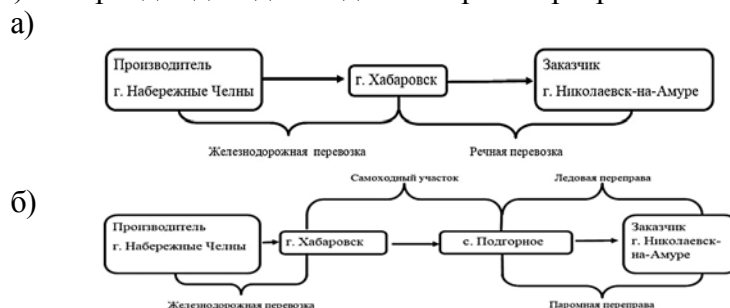


Рисунок 1 – Доставка колесной техники в г. Николаевск-на-Амуре:

а – первый маршрут; б – второй маршрут

При расчете стоимости доставки тягачей по двум вариантам маршрута были получены значения времени и стоимости транспортировки, при подробной постатейной калькуляции затрат. Расчет произведен за одну единицу техники [3, 4, 5]. Учтены затраты на паромную переправу и за переход по коммерческой ледовой переправе (переправа для тяжелой техники). Время и затраты на транспортировку тягачей составили: по первому маршруту 23 дня и 345131 р.; по второму маршруту 21 день и 165412 р.

#### Закключение

В данной работе разработаны два варианта доставки колесной техники от производителя до заказчика в г. Николаевск-на-Амуре. Особенностью всех вариантов доставки является их сезонность. В первом маршруте доставка осуществляется силами транспортных компаний, что увеличивает время и расходы на доставку тягачей заказчику. Вторым вариантом является наиболее быстрым и экономически выгодным, но предполагает привлечение водителей для выполнения перегона тягачей, что не всегда возможно. Преодолеть сезонность данных маршрутов позволит только наличие моста через р. Амур в районе г. Николаевска-на-Амуре. В результате можно сделать вывод, что любой из разработанных маршрутов имеет как свои плюсы, так и минусы. И решение о выборе должно приниматься комплексно с учетом всех факторов, влияющих на перевозку.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Петренко, П. В. Технология доставки нефтепродуктов / П. В. Петренко, И. В. Каменских // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы IV Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 12-16 апреля 2021 г. : в 4 частях. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2021. – Ч. 1. — С. 301-302.
2. Седельный тягач КамАЗ-5490-001-68 : «Камцентр» Официальный дилер КамАЗ : сайт. – Видное, 2024. – . – URL: <https://www.kamazik.ru/seriynye/sedelnyetyagachi/kamaz-5490-001-68/>(дата обращения: 15.02.2024).
3. R-Тариф Онлайн : Онлайн-сервис : сайт. – Санкт-Петербург, 2024. – . – URL : <https://r-tariff.com/>(дата обращения: 15.02.2024).
4. Туревский, И. С. Экономика отрасли (автомобильный транспорт) : учебник / И. С. Туревский. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2024. – 288 с.
5. Базовые тарифы 2024 внутр. перевозки : АО «Хабаровский речной торговый порт» : сайт. – Хабаровск, 2024. – . – URL: <http://rechtorgport.khv.ru/> (дата обращения: 15.02.2024).

УДК 656.025.4

Петров Иван Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Petrov Ivan Alekseevich, 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

## **ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТАВКИ БРУСА КЛЕЕНОГО ИЗ РОССИИ В КИТАЙ**

### **TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF GLUED TIMBER DELIVERY FROM RUSSIA TO CHINA**

Аннотация. В данной работе рассматривается доставка бруса клееного из города Хабаровска в порт Тяньцзинь в Китае. Представлен обзор экспорта российских пиломатериалов в 2023 году. Произведен расчет загрузки контейнера пакетами с брусом клееным. Представлены транспортные средства и перегрузочное оборудование. Целью работы является расчет времени доставки и стоимости перевозки одного контейнера с грузом.

Abstract. This paper considers the delivery of laminated timber from the city of Khabarovsk to the port of Tianjin in China. An overview of Russian lumber exports in 2023 is presented. The calculation of loading the container with packages with glued timber was made. Vehicles and transshipment equipment are presented. The purpose of the work is to calculate the delivery time and the cost of transporting one container with cargo.

Ключевые слова: контейнер, пиломатериалы, время доставки, стоимость перевозки, железнодорожная платформа, контейнеровоз.

Key words: container, lumber, delivery time, cost of transportation, railway platform, container ship.

#### **Введение**

В 2023 году произошло снижение поставок российских пиломатериалов на экспорт в связи с введением санкционной политики. Из десяти основных стран-импортеров не осталось ни одной страны из Европы.

Пятым пакетом санкций против России был введен запрет на вывоз российской древесины и изделий из нее. Экспорт лиственных и хвойных пиломатериалов в страны Евросоюза сократился вдвое.

Компенсировать уменьшение поставок на европейский рынок помогает экспорт в азиатские страны. Поставки в Китай пиломатериалов достигли 61 % от всего экспорта.

Также в первую пятерку импортеров вошли Узбекистан (10 %, рост на 0,5 %), Казахстан (4,3 %, рост на 13,3 %), а также Арабские Эмираты (2,6 %) и Гонконг (2,4 %), поставки в которые увеличились в 1,9 и 1,5 раза соответственно. Произошло увеличение экспорта в Турцию почти в три раза. Такие страны как Израиль, Ливан, Тайланд, Монголия, Грузия, Армения, Сирия также немного увеличили объемы поставок российских пиломатериалов.

В данной работе рассматривается перевозка бруса клееного из города Хабаровска в порт Тяньцзинь в Китае.

#### **Основная часть**

Брус клееный – материал из древесины, производимый из тонких деревянных досок путем их склеивания между собой. Брус клееный обладает высокой прочностью, влажостойкостью, он не утрачивает своих свойств и внешнего вида даже при действии открытого пламени, экологичен, трещиностойчив, легко скрепляется и устанавливается.

На рисунке 1 представлен общий вид бруса клееного.



Рисунок 1 – Общий вид бруса клееного



Рисунок 2 – Общий вид бруса клееного в упаковке

В данной работе для перевозки принимается клееный брус размером 6000 x 200 x 200 мм, вес которого составляет 124,8 кг. Клееные брусья следует упаковывать в термоусадочную или полиэтиленовую пленку. На рисунке 2 представлен общий вид бруса клееного в упаковке. В одном транспортном пакете размещается 24 ед. бруса, таким образом, общий вес транспортного пакета составляет 2995,2 кг. Размер пакета составит 6000 x 1200 x 800 мм.

Наиболее доступный вариант отправки бруса клееного на экспорт морским транспортом для небольших экспортёров – является отправка в контейнерах. Для перевозки преимущественно используются 40 футовые высокие контейнера (40HC).

На рисунке 3 приведена схема размещения пакетов бруса клееного в 40-футовом контейнере.

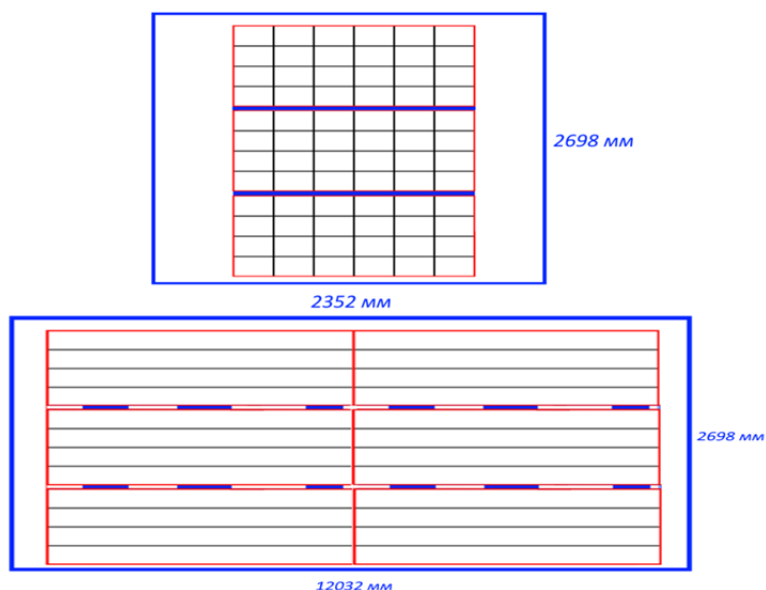


Рисунок 3 – Схема размещения бруса в 40-футовом контейнере

Полная загрузка контейнера составит 17,973 т. Вместе с контейнером вес составит 21,813 т.

Маршрут перевозки следующий: железнодорожная станция Хабаровск-2 – морской порт Владивосток – порт Тяньцзинь в Китае.

Железнодорожный путь с железнодорожной станции Хабаровска до порта Владивостока составляет – 756 км.

Морской путь порт Владивосток – порт Тяньцзинь составляет 1172,33 миль (2171,16 км).

Для железнодорожной перевозки бруса клееного в 40-футовых контейнерах принимается железнодорожная платформа 13-1223 для большегрузных контейнеров.

Для проведения расчетов на морском транспорте выбран контейнеровоз ФЕСКО Невельск.

Для загрузки укрупненных грузовых единиц бруса в 40-футовые контейнера используется автоматизированный погрузчик АЗК-40.

Для погрузки пакетов бруса на автоматизированный погрузчик АЗК-40 применяется погрузчик Kalmar DCE 60-6.

Для погрузки и разгрузки контейнеров на железнодорожные платформы на железнодорожных станциях применяют козловые краны КК-32.

В морских портах Владивостока и Тяньцзинь применяются в основном причальные контейнерные перегружатели типа STS. Вспомогательным оборудованием в морских портах служат ричстакеры.

#### **Заключение**

На железнодорожном транспорте срок доставки складывается из норм времени на операции, связанные с отправлением и прибытием груза, перемещением его по участкам, и норм времени на дополнительные операции. Время железнодорожного пути Хабаровск – Владивосток составит 6 сут.

Продолжительность морского рейса от порта Владивосток до порта Тяньцзинь складывается из ходового времени и времени погрузки-выгрузки и составляет 5 сут.

Время перевозки по маршруту Хабаровск – Владивосток – Тяньцзинь составляет 11 суток.

Стоимость железнодорожной перевозки одного контейнера по направлению Хабаровск – Владивосток составляет 95533 рублей, стоимость морской перевозки Владивосток – Тяньцзинь – 52357 рублей.

Стоимость перевозки одного 40-футового контейнера с брусом клееным по маршруту Хабаровск – Тяньцзинь с учетом перегрузки в порту Владивосток составляет 151390 рублей.

#### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Вольнец, Н. В. Программное обеспечение для формирования плана оптимальной загрузки контейнеров и транспортных средств / Н. В. Вольнец, И. Н. Журбина // 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. Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 189-191.

2. Рябчинский, А. И. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса : учебник для вузов / А. И. Рябчинский, В. А. Гудков, Е. А. Краченко. – М. : Академия, 2013; 2011. – 255 с.

3. Момот, З. А. Пути повышения транзитного потенциала России / З. А. Момот, О. А. Красильникова // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 7 – 11 Февраля 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 437-439.

4. Погребенко, Р. Е. Особенности контейнерных перевозок в современных условиях / Р. Е. Погребенко, И. В. Каменских // 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. Часть 2. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 246-248.

5. Олещенко, Е. М. Основы грузования : учебное пособие для вузов / Е. М. Олещенко, А. Э. Горев. – М. : Академия, 2005. – 285 с.



УДК 629.5.015.4

Самойлова Анастасия Валентиновна, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Samoilova Anastasia Valentinovna, 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

## **САЕ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ДНИЩЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ СУДНА-ГАЗОВОЗА**

### **CAE STRENGTH ANALYSIS OF THE BOTTOM STRUCTURE OF A GAS CARRIER VESSEL**

Аннотация. В данной работе представлены результаты моделирования конструкции корпуса судна-газовоза с ледовым классом в универсальной системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D. Рассчитана интенсивность давлений на ледовый пояс судна. Расчет прочности выполнен с применением компьютерного инженерного анализа (САЕ). Представлены результаты расчета.

Abstract. This paper presents the results of modeling the hull structure of a gas carrier vessel with ice class in the universal three-dimensional modeling system KOMPAS-3D. The intensity of pressures on the ice belt of the vessel is calculated. The strength calculation is performed using computer-engineering analysis (CAE). The results of the calculation are presented.

Ключевые слова: судно-газовоз, судовая конструкция, программное обеспечение, конечно-элементная модель, нагрузки, анализ прочности.

Key words: gas carrier, ship structure, software, finite element model, stresses, strength analysis.

#### **Введение**

Суда-газовозы эксплуатируются в арктических морях в сложных климатических условиях. Поэтому оценка прочности судовой конструкции, которая испытывает ледовые нагрузки является актуальной задачей. Так как в настоящее время широко используются программы моделирования, применяемые в проектных и конструкторских бюро, интерес представляет возможность создания судовой конструкции в одной из систем трехмерного моделирования и в дальнейшем выполнение прочностного анализа созданной модели. [1, 2]

Целью настоящей работы являлось смоделировать днищевую секцию судна-газовоза в программном комплексе КОМПАС-3D и рассчитать её прочность от интенсивности ледовых нагрузок в приложении АРМ FEM. В качестве математического аппарата выступает метод конечных элементов, который является апробированным методом исследования поведения конструкции.

#### **Расчетная модель судна-газовоза**

В процессе анализа прочности днищевой секции судна-газовоза необходимо выполнить следующие действия. [3-5]

В КОМПАС-3D создается трехмерная модель конструкции. Днищевая часть секции состоит из нескольких пластин, по этой причине необходимо выполнить несколько эскизов. Общий размер эскиза днищевой части составляет 18930x15100 мм. Общий размер эскиза подволока междудонного пространства составляет 20450x15100 мм. Далее моделируется продольный и поперечный набор судна. Задаются толщины. Итоговая конструкция включает в себя 19 тавров, 7 переборок.

Созданная трехмерная модель является основой для проведения прочностного анализа (рисунок 1).

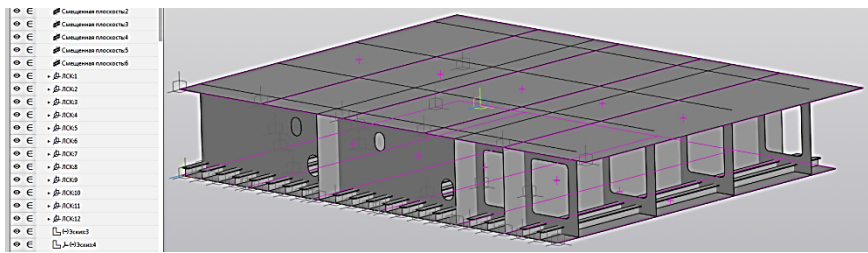


Рисунок 1 – Трехмерная модель днищевой секции судна-газовоза

На следующем шаге необходимо выполнить действия, заложенные в приложении АРМ FEM (прочностной анализ). До начала расчетов задать необходимый материал деталей, приложить нагрузку, применить граничные условия (закрепления деталей между собой), выполнить генерацию конечно-элементной сетки.

Как уже говорилось в начале статьи, прочность конструкции анализируется от интенсивности ледовых нагрузок. Так как днищевая секция выбрана в среднем районе судна, то давление, Па, рассчитывается по следующей формуле [2]:

$$p_B = 1500 \cdot a_3 \cdot \sqrt[6]{\frac{\Delta}{1000}},$$

где  $a_3$  – коэффициенты давлений (таблица 1);  $\Delta$  – водоизмещение судна в грузу, т.

Таблица 1 – Коэффициенты ледовых давлений

Коэффициенты	Категория ледовых усилений								
	Ice1	Ice2	Ice3	Arc4	Arc5	Arc6	Arc7	Arc8	Arc9
$a_1$	0,36	0,49	0,61	0,79	1,15	1,89	2,95	5,3	7,9
$a_2$	-	0,49	0,61	0,80	117	1,92	3,06	5,75	8,95
$a_3$	-	0,22	0,33	0,50	0,78	1,2	<b>1,84</b>	3,7	5,6
$a_4$	-	0,50	0,63	0,75	0,87	1	1	1	1

Из таблицы 1 для категорий ледовых усилений Arc7 и для нагрузок, действующих в среднем районе коэффициент  $a_3 = 1,84$ . Водоизмещение судна 81000 т.

Тогда давление, Па:

$$p_B = 1500 \cdot 1,84 \cdot \sqrt[6]{\frac{81000}{1000}};$$

$$p_B = 5741.$$

На рисунке 2 представлены результаты разбиения модели на конечные элементы с шагом равным 150.

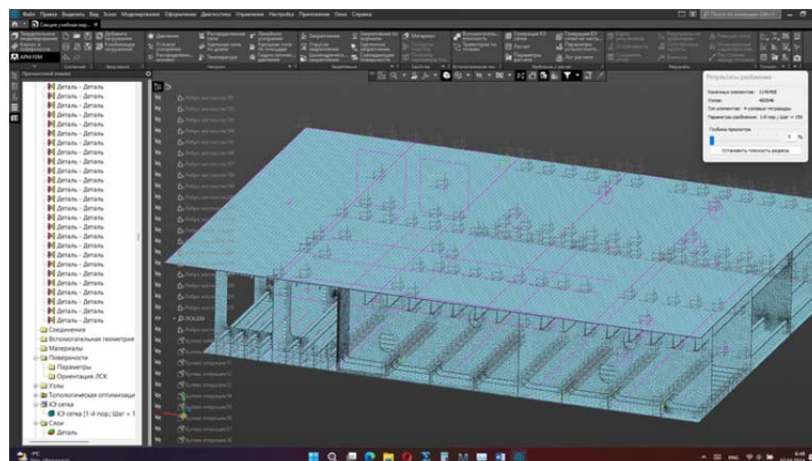


Рисунок 2 – Генерация сетки

В результате формирования у модели получилось 400946 узлов, 1149498 конечных элементов. Тип элементов: 4-узловые тетраэдры. Сразу стоит отметить, что сетку приходилось перестраивать несколько раз, так как возможности компьютера не позволяли создать её с более мелким шагом. Расчет либо зависал, либо вообще закрывался.

Далее был выполнен анализ напряженно-деформированного состояния смоделированной днищевой секции судна-газовоза при расчетной интенсивности ледовых нагрузок  $0,005741 \text{ Н/мм}^2$ . Визуализация полученных результатов представлена на рисунках 3 и 4.

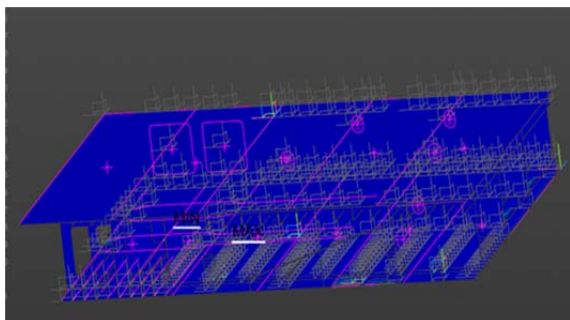


Рисунок 3 – Напряжения

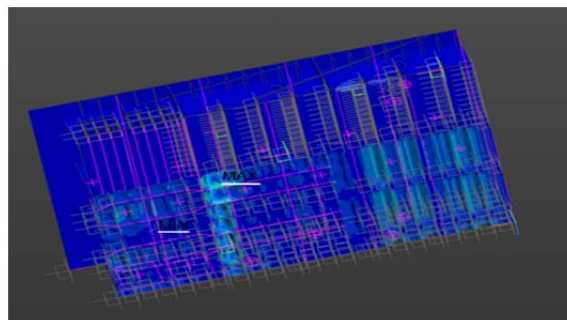


Рисунок 4 – Деформации

### Заключение

По результатам, полученных на основе САЕ анализа прочности днищевой секции судна-газовоза, можно сделать следующие выводы.

Максимальное напряжение по элементам, вызванное давлением в  $5741 \text{ Па}$  со стороны ледовых нагрузок, равно  $0,9363 \text{ Н/мм}^2$ . Наиболее напряженные участки расположены на днищевых пластинах (обшивке днища) в зонах без подкрепляющего набора, без ребер жесткости. Следовательно, эти зоны необходимо отнести к наиболее подверженным нагрузкам, которые необходимо либо подкреплять, либо утолщать листы.

Результаты численного решения дают качественную оценку поведения конструкции. Без сложных и долгих пересчетов, с применением САЕ анализа можно просчитать, при каких нагрузках конструкция получит максимально допустимые для неё напряжения, превышающие предел текучести материала и начнется её деформация или разрушение.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. rs-class.org : Российский морской регистр судоходства : классификационное общество. – Раздел сайта «Издания РС», подраздел «Правила классификации и постройки судов для перевозки сжатого природного газа». – URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules?ln=ru> (дата обращения: 10.04.2024).

2. Прочность судов, плавающих во льдах / Ю. Н. Попов, О. В. Фадеев, Д. Е. Хейсин, А. А. Яковлев – Л. : Судостроение, 1967. – 223 с.

3. Даманский, Д. В. Практическое трёхмерное моделирование судовых корпусных конструкций в системе КОМПАС-3D / Д. В. Даманский, В. А. Ярополов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых : 06-10 апреля 2020 года. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – В 3 ч. – Ч. 1 – С. 392-394.

4. Журбина, И. Н. Применение системы АРМ FEM для расчетов прочности судовой корпусной конструкции / И. Н. Журбина // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы Международной научно-практической конференции : 07-11 февраля 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – С. 494-496.

5. Морозов, Е. Д. Анализ напряженно-деформированного состояния судовой конструкции в системе прочностного расчета АРМ FEM / Е. Д. Морозов, И. Н. Журбина // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых : 14-18 ноября 2022 года. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2022. – В 2 ч. – Ч. 2 – С. 299-301.

УДК 621.735

Синельщиков Александр Андреевич, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sineshchikov Alexander Andreevich, postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

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, Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ЖЕСТКОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ РАЗДАЧИ ТРУБЧАТОЙ ДЕТАЛИ**

### **OPTIMIZATION OF THE RIGID MATRIX'S SHAPE FOR EXPANDING A TUBULAR PART**

Аннотация. Настоящая работа посвящена вычислению оптимальной формы жесткой матрицы для получения детали со сферической полостью заданного радиуса из титановой трубчатой заготовки под воздействием внутреннего гидростатического давления после пружинения материала с плавным выходом на основной радиус цилиндрической части детали. Задача решается в осесимметричной постановке с применением системы инженерного анализа ANSYS.

Abstract. This work is devoted to calculating the optimal shape of a rigid matrix for producing a part with a spherical cavity of a given radius from a titanium tubular preparation under the influence of internal hydrostatic pressure after springing the material with a smooth exit to the main radius of the cylindrical part of the element. The problem is solved in an axisymmetric formulation using the ANSYS engineering analysis system.

Ключевые слова: Раздача труб, листовая штамповка, оптимизация, пружинение, метод конечных элементов

Key words. Expanding of tube, sheet stamping, optimization, springing, finite element method

Существенная часть самолетных систем представляет собой трубопроводные коммуникации, при производстве которых существенный объем занимают операции листовой штамповки. Их изучению посвящено значительное количество исследований [1–5]. В целях сокращения трудозатрат на подготовку производства и предупреждения ошибок при выборе технологических параметров операций, целесообразно вычислить необходимую геометрию матрицы для задания формы заготовки с упреждением. В настоящей статье представлен результат оптимизационного расчета формы матрицы для раздачи трубчатой заготовки внутренним давлением. Целью расчета является определение оптимальной формы матрицы для получения сферической средней части трубы заданного радиуса с учетом пружинения заготовки.

Штамп представляет собой разборную матрицу, схематическое устройство которой показано на рисунке 1. Составные части матрицы (поз. 1, 2) помещаются в корпус (поз. 4). Внутри матрицы устанавливается заготовка (поз.3) и навинчивается крышка (поз. 5). Формообразование осуществляется посредством внутреннего давления. Для выемки готового изделия снимается крышка и извлекается верхняя часть матрицы.

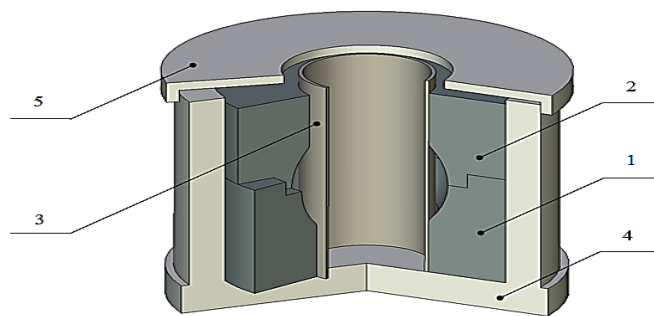


Рисунок 1 – Штамп для раздачи трубчатой заготовки  
 1 – нижняя часть матрицы; 2 – верхняя часть матрицы; 3 – заготовка;  
 4 – корпус; 5 – крышка

Расчетная геометрия представляет четверть осевого сечения матрицы и заготовки. Матрица представляет собой осесимметричное тело вращения, внутренняя поверхность которого задается образующей, состоящей из двух частей (рисунок 2, а). Участок *A* образующей является прямолинейным отрезком, а участок *B* – кубическим сплайном, построенным по шести точкам 1–6 (рисунок 2, а). На сплайн накладываются два дополнительных условия: условие перпендикулярности к горизонтально расположенной плоскости симметрии в точке 1 и условие сопряжения по касательной с прямолинейным участком в точке 6. При вращении образующей относительно оси симметрии участок *A* формирует цилиндрическую часть внутренней поверхности матрицы, а участок *B* – поверхность с двойной кривизной. Сферическая часть на рисунке 1.а обозначена участком *C*.

Координаты точек 1–6 необходимо задавать таким образом, чтобы внешняя поверхность трубчатой детали после формообразования и снятия нагрузки приобретала сферическую форму. Точки 1–5 расположены на фиксированных высотах 32,75 мм, 30 мм, 27 мм, 24 мм и 21 мм, соответственно, и в процессе оптимизации будет изменяться их координаты по оси *X*. Точка 6, в которой происходит сопряжение прямолинейного и криволинейного участков образующей, имеет фиксированную горизонтальную координату 16 мм, в то время как вертикальная координата определяется в процессе оптимизации.

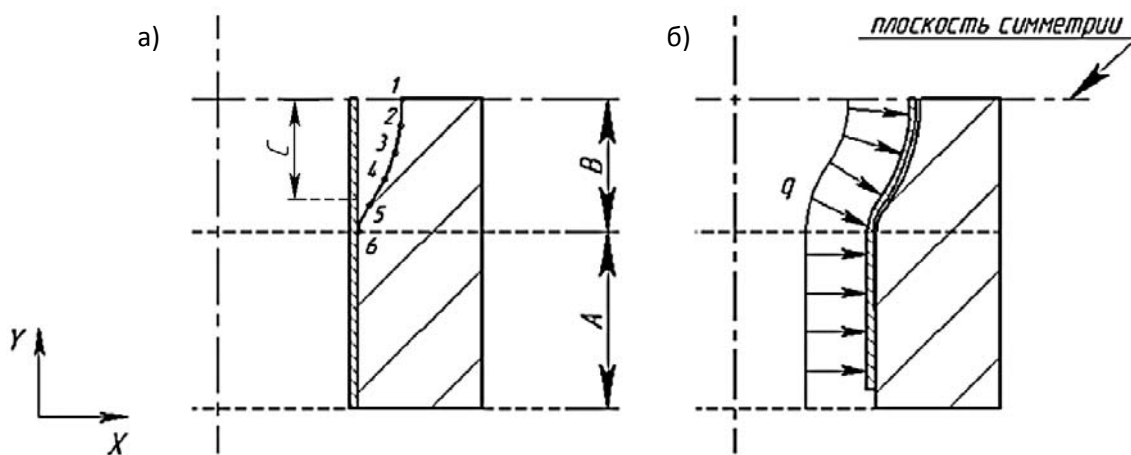


Рисунок 2 – Расчетная схема заготовки  
 а) Половина осевого сечения до нагружения;  
 б) Схема приложения нагрузки

При расчете учитывается трение на контактной поверхности между матрицей и заготовкой. Нагружение осуществляется пошагово. На первом шаге задается гидростатическое давление 100 МПа со стороны внутренней поверхности заготовки, на втором шаге нагрузка снимается и определяются остаточные деформации. Матрица считается жестко зафиксированной.

Задача оптимизации геометрической формы матрицы производилась в модуле Direct Optimization в пакете инженерного анализа ANSYS 2019. Подлежат определению координаты точек 1–6 образующей матрицы (рисунок 2, а), при которых внешняя поверхность сферической части формообразованной детали после снятия нагрузки максимально повторяет сферу с центром на высоте 32,75 мм, которой в плоскости OXY соответствует уравнение окружности радиусом 21 мм:

$$\sqrt{X^2 + (Y - 32,75)^2} = 21.$$

Результат расчета представлен на рисунке 3. На рисунке 3, а сопоставлен результирующий сплайн образующей матрицы 1 с теоретическим контуром изделия 2. Теоретический контур изделия представляет собой сферу радиусом 21 мм, сопряженную с цилиндром, радиус которого 16 мм, где радиус сопряжения 5 мм.

Максимальная относительная погрешность контролируемой части сферы составляет:

$$\Delta = \frac{21 - 20,986}{21} \cdot 100\% = 0,0667\%$$

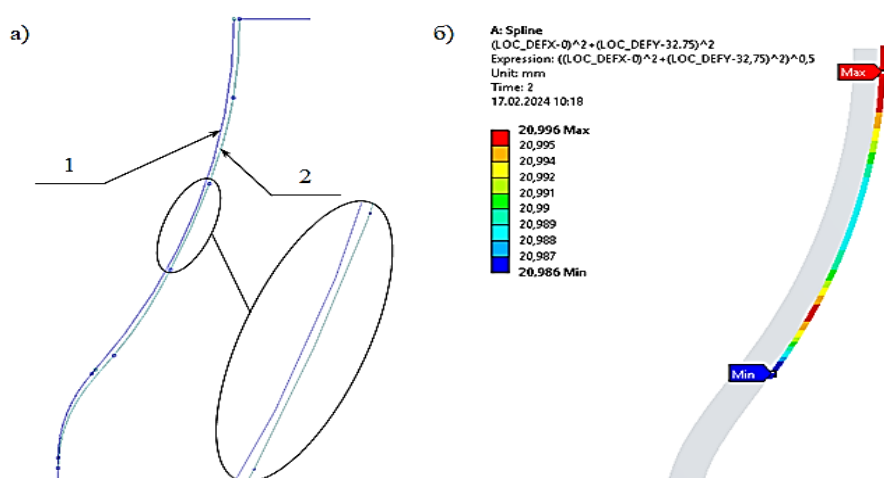


Рисунок 3 – Результат

а) форма оснастки: 1 – теоретический контур изделия;  
2 – образующая матрицы; б) контур детали

### Благодарности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-11-00165).

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Веселов, А.А. Определение размеров концов труб после раздачи методом пластического деформирования / А.А. Веселов // Морской вестник. – 2012. – № 1(41). – С. 15–16.
2. Каргин, В. Р. Влияние противодавления при прямом прессовании труб с раздачей / В. Р. Каргин, А. Е. Афанасьев, Б. В. Каргин // Интернет-журнал Науковедение. – 2016. – Т. 8, № 6(37). – С. 9.
3. Афанасьев А.Е., Каргин В.Р., Каргин Б.В. Компьютерный анализ процесса раздачи труб прессованием // Интернет-журнал Науковедение. – 2016. – Т. 8, № 2(33). – С. 97.
4. Феоктистов, С. И. Определение предельного коэффициента раздачи по FLD-диаграммам / С. И. Феоктистов, З. С. Чжо // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2019. – № 9. – С. 3-7.
5. Марьин, С. Б. Исследование процесса раздачи средней части трубной заготовки с подпором / С. Б. Марьин, Г. А. Щербатюк, В. Д. Кириллин, М. И. Пак // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2021. – № 7(55). – С. 73-78. – DOI 10.17084/20764359-2021-55-73.

УДК773.93

Соколов Денис Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет  
Sokolov Denis Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Петров Владимир Сергеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Petrov Vladimir Sergeevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Куриный Владислав Викторович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой "Кораблестроения и компьютерного моделирования", Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Kuriny Vladislav Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Shipbuilding and Computer Engineering", Komsomolsk-na-Amure State University

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОЛПАКОВ НА СЕКТОРНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

### DEVELOPMENT OF DESIGNS AND TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING PROTECTIVE CAPS FOR SECTOR SWITCHES

Аннотация. В настоящее время селекторные переключатели нашли широкое распространение в промышленности и на транспорте. Наиболее распространены двухпозиционные переключатели, в которых происходит переключение между двумя положениями. Наряду с достоинствами, такие переключатели имеют и недостатки. Главный из которых – отсутствие защиты от случайного срабатывания. С целью устранения этого недостатка представителями производства была поставлена задача разработки защитной крышки для такого переключателя. Моделирование защитной крышки проводилось в программном комплексе T-Flex 17. Были разработаны параметрические 3D модели, на основе которой в слайсере Cura 5.1 создавался G-код для печати защитного колпака на 3Dпринтере. Так же были подобраны тип пластика и режимы печати.

Abstract. Currently, selector switches are widely used in industry and transport. The most common are two-position switches that switch between two positions. Along with their advantages, such switches also have disadvantages. The main one is the lack of protection against accidental operation. In order to eliminate this drawback, production representatives set the task of developing a protective cover for such a switch. The modeling of the protective cover was carried out in the T-Flex 17 software package. Parametric 3D models were developed on the basis of which a G-code was created in the Cura 5.1 slicer for printing a protective cap on a 3D printer. The type of plastic and printing modes were also selected.

Ключевые слова: секторный переключатель, защитный колпак, аддитивные технологии, 3D печать, дефекты 3D печати.

Key words: sector switch, protective cap, additive technologies, 3D printing, 3D printing defects.

#### Введение

В настоящее время селекторные переключатели нашли широкое распространение в промышленности и на транспорте. На транспорте переключатели широко распространены в грузовых перевозках и судостроении. Ассортимент применяемых селекторных переключателей очень разнообразен. Как правило, селекторный переключатель включается в цепь управления с установкой на монтажную панель. При повороте ручки переключателя происходит замыкание или размыкание различных контактов, что приводит к переключению режимов работы оборудования. Наиболее распространены двухпозиционные переключатели, в которых происходит переключение между двумя положениями (рисунок 1).

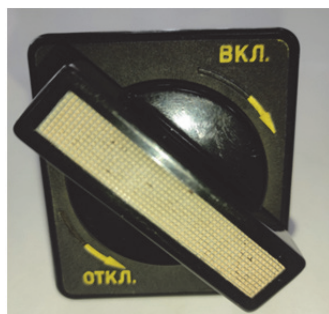


Рисунок 1 – Двухпозиционный секторный переключатель

Наряду с достоинствами такие переключатели имеют и недостатки, главный из которых – отсутствие защиты от слу-

чайного срабатывания. С целью устранения этого недостатка была поставлена задача разработки защитной крышки для такого переключателя.

### Основная часть

Задача разработки конструкции и технологии изготовления защитной крышки на переключатель была поставлена в рамках хозяйственной работы № 30102/24 с ООО «ПТО».

По техническим условиям, выставленным заказчиком, разработаны два вида защитных колпаков для вертикального и горизонтального монтажа (рисунок 2).

Модели разрабатывались параметрическими с возможностью оперативного изменения размеров (рисунок 3).

Моделирование защитной крышки проводилось в программном комплексе T-Flex 17. Фиксация защитной крышки на лицевой стороне переключателя осуществляется за счет силы трения.

Из существующих методов 3D печати был выбран способ печати FDM методом, так как он является более дешевым по сравнению с остальными методами печати аддитивных технологий и позволяет выбирать из широкого спектра различных пластиков и цветов [1-5].

По требованию заказчика печать производилась филаментом красного, желтого и прозрачного цветов.

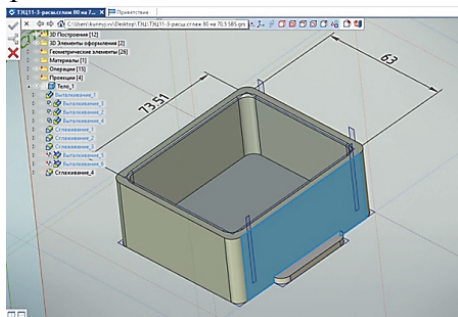


Рисунок 2 – 3D модель защитной коробки без прорезей

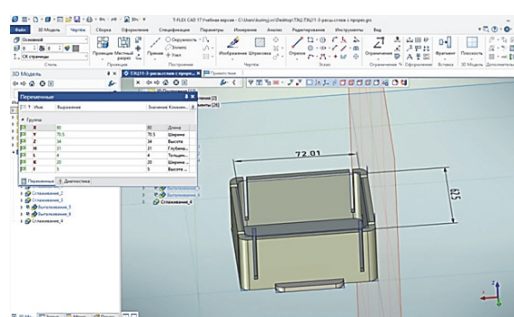


Рисунок 3 – Параметрическая модель с прорезями

В процессе опытной эксплуатации заказчиком выяснилось, что геометрические размеры лицевой стороны секторных переключателей могут отличаться в зависимости от года выпуска и производителя. На одной панели управления размеры расположенных рядом переключателей могут отличаться. В этом случае защитный колпак может не фиксироваться или не подходить по размеру. Кроме того, для горизонтального монтажа необходим исключительно прозрачный филамент в связи с тем, что за непрозрачными колпаками не видно световой индикации.

С целью устранения данного недостатка заказчику была предложена модель с прорезями, создаваемый при помощи разрезов по сторонам защитной крышки (рисунок 3).

Образцы напечатанных защитных крышек для вертикального монтажа представлены на рисунке 4.



Рисунок – 4 Защитные крышки для вертикального монтажа



## **Заключение**

Таким образом, при подготовке к печати в слайсере заготовки необходимо учитывать то, что различные типы филамента имеют разную усадку и при остывании заготовки геометрические размеры могут значительно меняться.

Перед запуском мелкосерийной партии необходимо проводить пробную печать именно из того филамента, из которого планируется изготавливать серию деталей. В этом случае оптимальным при 3D моделировании является создание именно параметрической модели, которая позволяет оперативно корректировать геометрические размеры модели.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Двухсредный беспилотный летательный аппарат / В. В. Солецкий, М. С. Нюняйкина, А. А. Перевалов, В. В. Куриный // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2019. – Т. 1, № 2(38). – С. 4-15.

2. Куриный, В. В. Особенности технологии изготовления корпусов двухсредных беспилотных аппаратов методом послойного наплавления FDM (Fused deposition modeling) / В. В. Куриный, В. В. Солецкий, Лю Бинь // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 2-2(52). – С. 34-41.

3. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении : Пособие для инженеров / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – Москва : Центральный орден Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт "НАМИ", 2015. – 220 с.

4. RepRap – the replicating rapid prototype / R. Jones, P. Haufe, E. Sells, P. Iravani, V. Olliver, C. Palmer, A. Bowyer // Robotica. – 2011. – Vol. (29). – P. 177-191.

5. RepRap: The replicating rapid prototyper: Maximizing customizability by breeding the means of production / E. Sells, S. Bailard, Z. Smith, A. Bowyer, V. Olliver // Handbook of Research in Mass Customization and Personalization, 2010. – P. 568-580.

УДК 629.5.035:

Соколов Денис Андреевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sokolov Denis Andreevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Свиридов Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sviridov Andrey Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МАКЕТОВ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ**

### **APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURE OF PROPELLER LAYOUTS**

Аннотация. В ходе работы решали актуальные вопросы отработки приемов трехмерного моделирования элементов корабельных конструкций, с проработкой методик создания макетов и мастер-моделей изделий. Предметом разработки является макет, пригодный для дальнейшего изготовления гребного винта. Также решали актуальные вопросы разработки концепции применения аддитивных технологий в области кораблестроения с использованием современных наработок отечественного аддитивного производства в условиях импортозамещения.

Abstract. In the course of the work, topical issues were resolved in developing techniques for three-dimensional modeling of elements of ship structures, with the development of methods for creating mock-ups and master models of products. The subject of development is a prototype suitable for further manufacturing of a propeller. They also resolved pressing issues of develop-

ing a concept for the use of additive technologies in the field of shipbuilding using modern developments in domestic additive production in the conditions of import substitution.

Ключевые слова: судостроение, гребной винт, аддитивные технологии, гребной винт, трехмерное моделирование.

Key words: shipbuilding, propeller, additive technologies, three-dimensional modeling,

### Введение

Аддитивные технологии как одно из направлений цифрового производства являются мощнейшим инструментом ускорения НИОКР и вывода новой продукции на рынок. Под аддитивным производством понимают процесс изготовления изделий с применением трехмерного принтера по заранее подготовленной цифровой модели. Этот процесс считается инновационным и противопоставляется традиционным способам промышленного производства [1, 2].

Одной из областей, где применение аддитивных технологий и 3D печати оправдано, является производство гребных винтов для крупных морских и речных судов. Как правило, суда производятся небольшими сериями, поэтому и для каждой серии требуется свой винт, индивидуально рассчитанный и подобранный [3, 4].

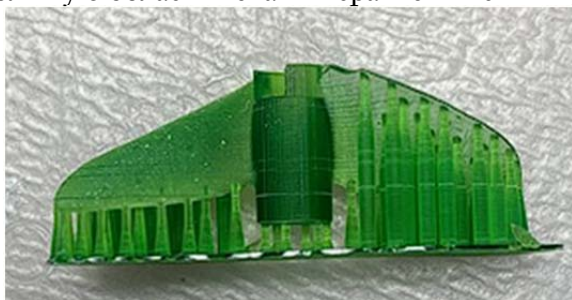
Традиционно заготовки гребных винтов изготавливаются методами литья. Для изготовления отливки необходима модельная форма, которая максимально точно воспроизводит форму, включая "контур" лопастей гребного винта. Такие модели очень сложно изготовить вручную и в настоящее время они либо обрабатываются на станках с ЧПУ, либо, в печатаются на 3D-принтерах. Очень сложно изготовить формы для литья сложных деталей, таких как лопасти гребного винта. Поэтому прямая печать форм экономически выгодна и оправдана [5].

### Основная часть

Наиболее подходящей технологией для печати мастер-моделей для последующего производства винтов является технология FDM представляющая собой послойное наплавление пластика путем перемещения печатающей головки принтера. Это самый распространенный и бюджетный вид печати. Различают ABS, PLA, NYLON пластики и WAX – представляет собой специальный воск с нулевой зольностью (сгорает без остатка) идеален для мелкосерийного литья небольших изделий, так как напечатанная модель сразу же является моделью для литья которую достаточно поместить в опоку и прокалить, для последующего литья металла. Единственный недостаток такого материала - это его стоимость. Пластик NYLON подходит для тяжелых условий работы так как имеет высокую термостойкость, ударопрочность и износостойкость.

Немного менее распространена технология SLA печати, это печать при помощи светотверждаемой смолы. Технология подразумевает печать из жидкой смолы отверждаемой путем засветки слоя через УФ матрицу. Преимущество технологии в детализации и точности так как минимальная толщина слоя составляет около 0.01мм, что позволяет печатать детали с высокой точностью и гладкой поверхностью практически не требующей последующей обработки, однако большинство принтеров с этой технологией имеют меньшую область печати в сравнении с FDM, и подходят для небольших изделий.

а)



б)



Рисунок 1 – Мастер модель и отливка винта для гоночной лодки:

а) мастер модель; б) отливка

При помощи SLA печати возможно изготавливать винты для моделей гоночных лодок печатая выжигаемой смолой (см. рисунок 1). Винт при этом моделируют и печатают с литниковой системой и модель пригодна для способа литья по выжигаемым моделям под давлением. Такой метод позволяет изготавливать отливки высокого качества и требующие как правило лишь финишных операций их обработки [1, 2].

Также при использовании высокопрочных смол возможна печать гребных винтов пригодных для применения в небольших спортивных моделях судов.

В работе для создания макета винта был выбран FDM принтер и материал PLA, диаметр 180мм, шаг 205мм.

Разработка модели производилась в программах «PropCad» и «RhinoCeros» (рисунок 2).

Для подготовки файла к печати применяли программу Cura 5.4.0, что необходимо для преобразования трехмерной геометрии в набор простых команд для принтера (рисунок 3).

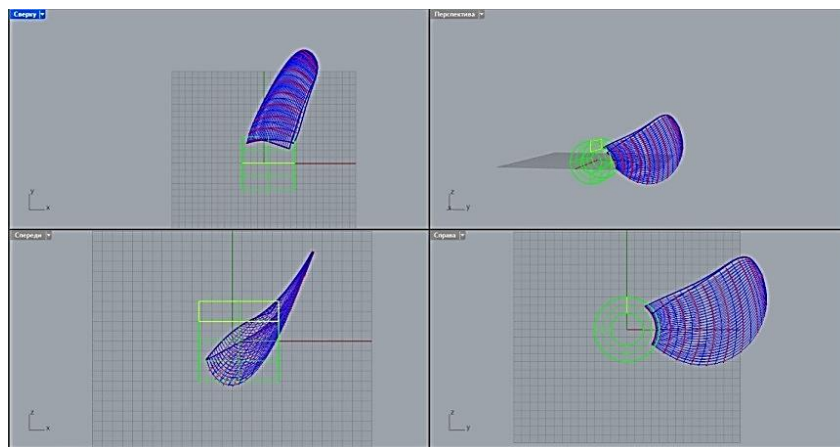
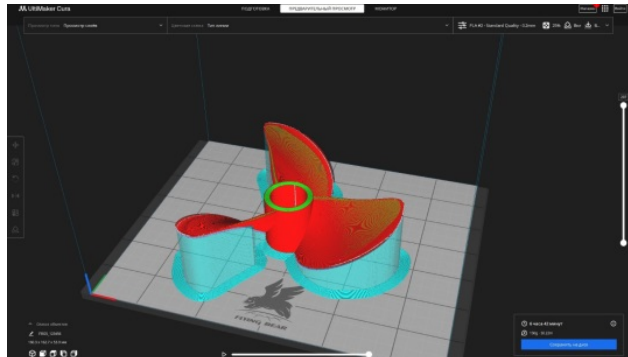


Рисунок 2 – Моделирование гребного винта

а)



б)



Рисунок 3 – Подготовка модели к печати и изготовленная модель:

а) 3D-модель; б) изготовленная модель

### Заключение

По итогам работы был смоделирован и изготовлен макет гребного винта пригодный для формования и литья из металла. При соответствующем выборе материалов для печати также возможно изготовление готовых пластиковых винтов для моделей кораблей и небольших судов с маломощными силовыми установками.

Также были исследованы актуальные вопросы разработки концепции применения аддитивных технологий в области кораблестроения с использованием современных наработок отечественного аддитивного производства в условиях импортозамещения.

### Благодарности

Работа подготовлена в СКБ «Компьютерные и инженерные технологии» на базе судомодельной лаборатории факультета авиационной и морской техники ФГБОУ ВО «КНАГУ».

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Канищев, М. В. Введение в аддитивные технологии. Т. 1. Обзор основных технологий 3D-печати : учебник / М. В. Канищев, Л. М. Ульев. – Москва : Издательский Дом НИТУ «МИСиС», 2023. – 352 с.
2. Лазерные аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров, Р. С. Третьяков; под ред. А. Г. Григорьянца. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. – 280 с.
3. Антоненко, С. В. Судовые движители / С. В. Антоненко. – Москва : Издательство Проспект, 2015. – 125 с.
4. Расчет движительного комплекса винтового судна : Учебное пособие / Сост. А. Г. Ряйсянен. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2010. – 39 с.
5. Гребные винты. Современные методы расчета / В. Ф. Бавин, Н. Ю. Завадовский, Ю. Л. Левковский, В. Г. Мишкевич – Л.: Судостроение, 1983. – 296 с.

УДК 629.7.016

Федоров Виталий Евгеньевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Fedorov Vitaly Evgenievich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Седунов Ярослав Алексеевич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sedunov Yaroslav Alekseevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Миташова Татьяна Александровна, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Mitashova Tatyana Aleksandrovna, Postgraduate student, Komsomolsk-na-Amure State University

## **ЗАВИСИМОСТЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ОТ МАСШТАБИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА САМОЛЁТНОГО ТИПА**

## **DEPENDENCE OF AERODYNAMIC QUALITY ON THE SCALING OF AN AIRPLANE-TYPE AIRCRAFT**

Аннотация. В статье рассматривается проблема влияния уменьшения размеров летательного аппарата самолётного типа на его аэродинамическое качество. Тема актуальна в связи с расширением областей применения малоразмерных летательных аппаратов самолётного типа и целесообразностью анализа опыта предшествующего периода развития самолётостроения.

Abstract. The article considers the problem of the influence of reducing the size of the aircraft type on the aerodynamic quality of its wing. The topic is relevant in connection with the expansion of the areas of the use of small aircraft -type aerial vehicles and the advisability of using the experience of the previous period of the development of aircraft construction in the design of small -sized devices.

Ключевые слова: малоразмерные летательные аппараты самолётного типа, масштабирование, аэродинамическое качество крыла.

Key words: small aircraft-type aircraft, scaling, aerodynamic quality of the wing.

В связи с интенсивным развитием беспилотной авиации различного назначения, происходит миниатюризация летательных аппаратов [1, 2]. Это требует анализа влияния фактора «малоразмерности» конструкции и малых скоростей полёта на несущую способность крыла и его аэродинамическое качество, анализ достоинств и недостатков нормальной аэродинамической схемы, общепринятой для полноразмерных самолётов.

Масштабирование летательных аппаратов самолётного типа (ЛА СТ) в сторону уменьшения размеров с одновременным снижением скорости полёта, характеризуемы-

ми пониженными числами Рейнольдса  $Re$ , сопровождается существенным падением несущих качеств аэродинамических поверхностей ЛА: крыла и стабилизатора. Иллюстрацией этого процесса могут послужить графические зависимости, представленные на рис. 1 [3]. Здесь несущие качества характеризуются коэффициентами подъёмной силы  $C_y$   $C_{y_{max}}$  в зависимости от числа  $Re$  и угла атаки  $\alpha$ .

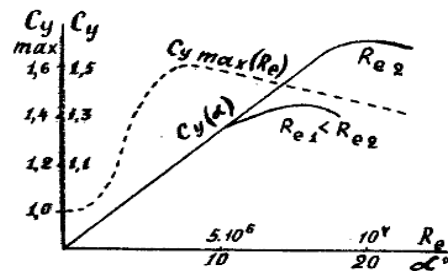


Рисунок 1 – Зависимость  $C_{y_{max}}$  от числа  $Re$  и угла атаки  $\alpha$

Для оценки уровня изменения коэффициента аэродинамического качества крыла при миниатюризации летательного аппарата, был использован коэффициент миниатюризации конструкции  $K_L$ , равный отношению характерных линейных размеров:

$$K_L = \frac{L_{исх}}{L_M}, \quad (1)$$

где,  $L_{исх}$  - исходный размер полноразмерный вариант конструкции, м;  
 $L_M$  - размер миниатюризованного варианта конструкции.

В качестве примеров миниатюризации ЛА рассматривались конструкции, в частности, таких летательных аппаратов как Selex ES Falco (Италия), RQ-7 Shadow (США), Привид С1 (Украина) и т.д.

Методическая особенность проведённого анализа заключалась в следующем:

- для оценки аэродинамических коэффициентов ЛА использовался один и тот же профиль крыла - ЦАГИ 731 с углом атаки  $\alpha=2^\circ$  [4];
- в качестве исходного размера полноразмерной конструкции выбран размах крыла King Air 350, равный  $L_{исх}=17,79$  м;
- наибольшая степень миниатюризации конструкции характеризовалась значением  $K_L=7,45$ , что соответствовало размаху крыла  $L_M=2,38$  м;
- удлинение крыла при миниатюризации задавалось неизменным и равнялось 10,036.

Абсолютные размеры геометрии уменьшались в следующих пределах: хорда крыла - корневая 2,82 ...0,38 м, концевая - 0,72...0,1 м; САХ 2,73...0,37 м; площадь крыла 31,54... 0,57 м<sup>2</sup>, размах крыла 17,79...2,39.

Масштабирование параметров полёта: высота 12000... 50 м; скорость полёта 233... 20 м/с; плотность воздуха 1,16... 0,31 кг/м<sup>3</sup>.

Интегральным критерием сравнения ЛА стало аэродинамическое качество крыла  $K_{кр}$  вычисляемое по формуле:

$$K_{кр} = \frac{Y}{X_{кр}}, \quad (2)$$

где,  $X_{кр}$  – сила лобового сопротивления крыла;  
 $Y$  – подъёмная сила, вычисляемая по формуле:

$$Y = C_y \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{S}{2}, \quad (3)$$

где,  $C_y$  – коэффициент подъёмной силы;  
 $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  
 $S$  – площадь крыла, м<sup>2</sup>;  
 $v$  – скорость полёта, м/с.

Сила лобового сопротивления:

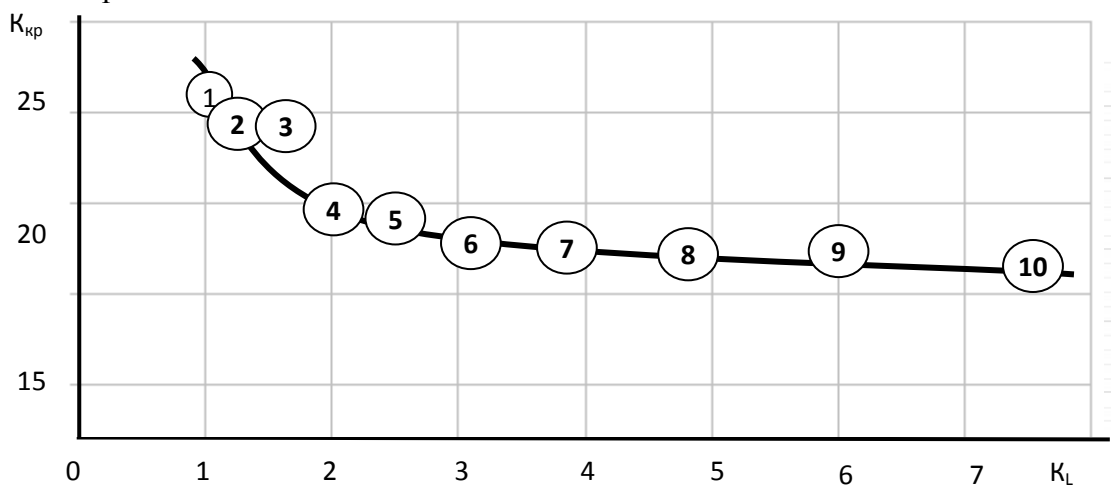
$$X_{кр} = C_x \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \cdot S, \quad (4)$$

где,  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления крыла.

Произведен расчет подъемной силы и аэродинамического сопротивления нескольких итераций масштабированных параметров ЛА СТ с увеличением коэффициента миниатюризации  $K_L$  [5, 6].

По результатам данного расчета построен график изменения аэродинамического качества крыла при миниатюризации ЛА, изображённый на рисунке 2. Миниатюризация ЛА в 7,45 привела к снижению аэродинамического качества крыла более, чем на 30%.

Полученный результат должен рассматриваться как качественная оценка характера влияния миниатюризации конструкции на аэродинамическое качество рассмотренных вариантов ЛА СТ.



1 - King Air 350; 2- Су-4; 3 - И-14; 4 - И-16; 5 - Falco; 6- Эльф-Д; 7 - RQ-7B;  
8 - Cobra; 9 - Puma AE; 10 - Привид С1

Рисунок 2 - Влияние миниатюризации ЛА СТ на аэродинамическое качество крыла

Объединяющим признаком данных ЛА стало применение одной и той же нормальной аэродинамической схемы, генерирующей разнонаправленную подъемную силу. В общем силовом балансе отрицательная подъемная сила, создаваемая горизонтальным оперением (ГО), в рамках балансировки ЛА, составляет не малую величину и характеризуется потерями аэродинамического качества на балансировку. На рис. 3 представлена зависимость коэффициента сопротивления ГО  $C_{xго}$ , от 3-х факторов [7]:

- угла отклонения руля высоты  $\delta$ , град;
- отрицательной подъемной силы ГО, характеризуемой значением коэффициента подъемной силы  $C_{yго} = -0,2$ ;
- положительной подъемной силы ГО, при значении коэффициента  $C_{yго} = 0,2$ ;
- нулевой подъемной силы, характеризуемой значением коэффициента  $C_{yго} = 0$ .

При неотклонённом руле высоты ( $\delta=0$ ) использование ГО в качестве генератора подъемной силы (положительной или отрицательной) сопровождается ростом коэффициента сопротивления  $\Delta C_{xго}$  на 70%, с соответствующим ростом потерь аэродинамического качества на балансировку.

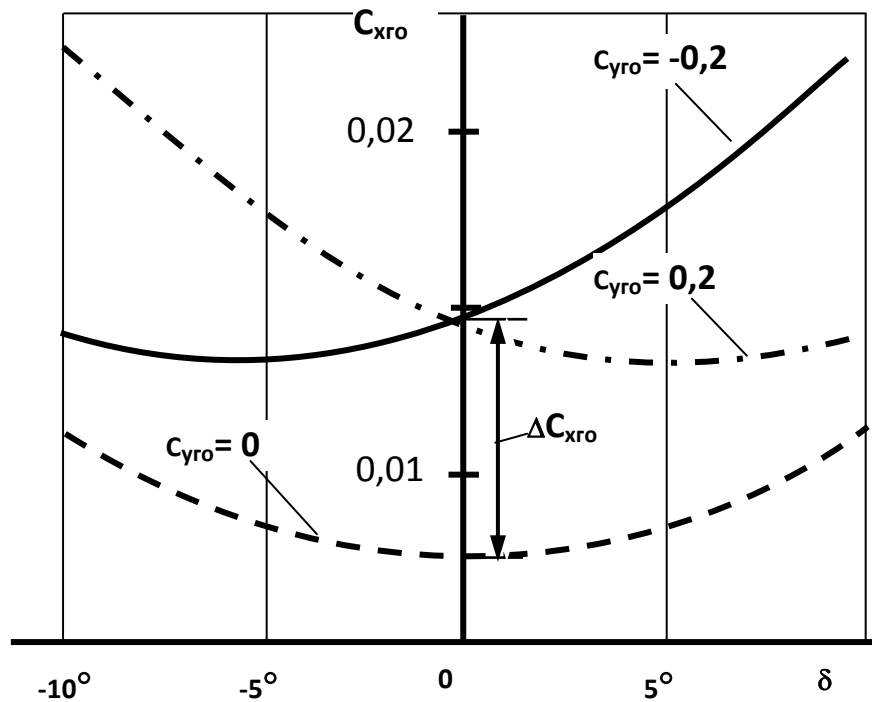


Рисунок 3 - Величина приращения коэффициента сопротивления  $\Delta C_{xro}$  при использовании ГО в качестве генератора подъёмной силы

Из результатов проведённого анализа следуют выводы:

- уменьшение размеров и скорости полёта ЛА СТ сопровождается снижением несущей способности аэродинамических поверхностей ЛА, обусловленных естественными аэродинамическими факторами;
- в качестве резерва повышения энергетической эффективности малоразмерных ЛА СТ целесообразно снижать балансировочные потери;
- снижение балансировочных потерь возможно за счёт применения аэродинамических схем, не содержащих хвостовое горизонтальное оперение.

#### **Благодарности.**

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. Полтавский, А. В. Многофункциональные комплексы беспилотных летательных аппаратов: развитие в системе вооружения / А. В. Полтавский, А. С. Жумабаева, Р. Р. Бикеев // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1 (13). – С. 39–46.
2. Шмитц, Ф.В. Аэродинамика малых скоростей / Ф.В. Шмитц. - М.: Издательство ДОСААФ, 1963. – 60 с.
3. Павловский, К.М. Практическая аэродинамика и динамика полета летательных аппаратов: учеб. пособие / К.М. Павловский. – М.: ВПА, 1969. – 308 с.
4. Справочник Авиационных Профилей. [Электронный ресурс] / studylib.ru Электронная библиотека. URL: <https://studylib.ru/doc/2397450/spravochnik-aviacionnyh-profilej> (дата обращения 21.02.2024).
5. Применение метода анализа размерностей при решении гидравлических задач. [Электронный ресурс] / studfile.net Файловый архив студентов. URL: <https://studfile.net/preview/6331221/> (дата обращения 21.02.2024).
6. Коврижных, Е.Н. Основы аэродинамики летательного аппарата : учеб. Пособие / Е. Н. Коврижных, Ю. Н. Стариков. – Ульяновск : УВАУ ГА, 2004. – 151 с. Рохин, В.В. Условные максимумы балансировочного аэродинамического качества неманевренного самолёта / В.В. Рохин, В.К. Святодух, В.Б. Слущкий // Учёные записки ЦАГИ, Т. XVIII, №3, 1987. С.79- 88.

УДК 681.586.672

Филатова Екатерина Евгеньевна, студент, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Filatova Ekaterina Evgenievna, student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Епринцев Михаил Александрович, аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Eprintsev Mikhail Alexandrovich, graduate student, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

## **РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРИЕМНИКА ТЕМПЕРАТУРЫ П-5 В SOLIDWORKS**

### **DEVELOPMENT OF A THREE-DIMENSIONAL MODEL OF THE P-5 TEMPERATURE RECEIVER IN SOLIDWORKS**

Аннотация. В статье показано моделирование и конструирование приемника температуры воздушного потока (П-5) в САПР SolidWorks. Разобрано отдельное проектирование каждой сборочной единицы данного авиационного датчика. Показана сборка приемника температуры. Модель приемника П-5 нужна для исследования его аэродинамических характеристик.

Abstract. The article shows the modeling and design of an air flow temperature receiver (P-5) in CAD SolidWorks. The separate design of each assembly unit of this aircraft sensor has been disassembled. The assembly of the temperature receiver is shown. The model of the P-5 receiver is needed to study its aerodynamic characteristics.

Ключевые слова: приемник температуры, датчик, моделирование, SolidWorks, деталь.  
Key words: temperature receiver, sensor, modeling, SolidWorks, detail.

#### **Введение**

Одним из популярных программных комплексов САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства является SolidWorks. Он обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения.

Приемник температуры воздушного потока (П-5) предназначен для измерения температуры торможения наружного воздуха при скоростях полета до 1,5 Маха (1800 км/ч). Диапазон измерения – от -60°C до 150°C. Данный авиационный датчик является комплектующей частью термометра ТНВ-15. П-5 устанавливается по правому борту в носовой части фюзеляжа.

Принцип действия приемника основан на использование зависимости сопротивления теплочувствительного элемента от температуры измеряемой среды. Приемник имеет неразъемную конструкцию и состоит из следующих частей: теплочувствительного элемента, корпуса, диффузора, конфузора и штепсельного разъема.

Смоделированный приемник температуры в SolidWorks нужен для дальнейшего изучения его аэродинамических характеристик.

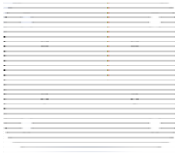





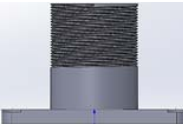
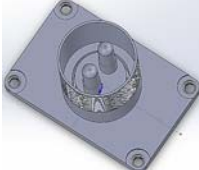
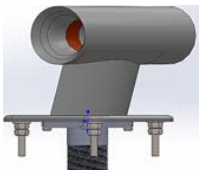
#### **Разработка конструкции корпуса приемника П-5**

Корпус данного авиационного датчика состоит из нескольких частей.

Проектирование трехмерной модели датчика выполнялось на основании измерений реального датчика. Его оцифровка происходила следующим образом (таблица 1):



Таблица 1 – Оцифровка датчика температуры П-5:

<p>1. Создается эскиз основания приемника длиной 65 мм, шириной 55 мм. Затем эскиз преобразуется в трехмерный элемент высотой 4 мм и создается в нем отверстия диаметрами 3 мм и 1,5 мм под крепления (рисунок 1).</p>	 <p>Рисунок 1 – Основание приемника температуры</p>	
<p>2. Проектируется стойка под углом 112° высотой 35 мм (рисунок 2-а вид сбоку и рисунок 2-б вид сверху).</p>		
	<p>Рисунок 2-а – Основание и стойка приемника температуры, вид сбоку</p>	<p>Рисунок 2-б – Основание и стойка приемника температуры, вид сверху</p>
<p>3. Создается втулка (сопло Лавалья) длиной 95 мм (рисунок 3). Внешний диаметр 29 мм, внутренний диаметр на входе сопла 15,95 мм, на выходе сопла 27,5 мм.</p>	 <p>Рисунок 3 – Корпус приемника температуры, вид сбоку</p>	
<p>4. Для дальнейших работ по аэродинамическим исследованиям датчика внутри сопла выделяется теплочувствительный элемент (рисунок 4).</p>	 <p>Рисунок 4 – Теплочувствительный элемент внутри сопла приемника</p>	
<p><b>Разработка конструкции детали под штепсельный разъем</b></p>		
<p>5. Создается деталь длиной 38 мм, шириной 25,16 мм и высотой 5 мм, с отверстиями под крепеж диаметром 1,5 мм (рисунок 5).</p>	 <p>Рисунок 5 – Основание детали под штепсельный разъем</p>	
<p>6. Создается штепсельный разъем диаметром 38 мм и высотой 22,95 мм и резьбовым соединением (рисунок 6).</p>	 <p>Рисунок 6 – Деталь под штепсельный разъем, вид сбоку</p>	
<p>7. Внутри штепсельного разъема создается два контакта (рисунок 7).</p>	 <p>Рисунок 7 – Деталь под штепсельный разъем</p>	
<p><b>Сборка приемника температуры П-5</b></p>		
<p>Через раздел «Сборка» выполняется компоновка спроектированных элементов приемника температуры П-5. Для компоновки деталей используется сопряжение «совпадение» и применяется к грани основания корпуса и грани основания детали, а также «коаксиальный» к монтажным отверстиям.</p>		
<p>Для полноты сборки добавляются винты, шайбы и гайки, устанавливаемые в соответствующие отверстия. Собранный приемник температуры П-5 представлен на рисунке 8.</p>	 <p>Рисунок 8 – Приемник температуры П-5</p>	

## **Заключение**

В САПР SolidWorks смоделирован приемник температуры воздушного потока П-5, в последствие он будет исследован для определения его аэродинамических характеристик. Отдельно разобрано проектирование корпуса данного авиационного датчика, состоящего из основания, стойки, сопла и теплочувствительного элемента. Также приведено описание создания детали под штепсельный разъем, который состоит из основания, штепсельного разъема и двух контактов. Приведена полная сборка приемника температуры, детали были собраны вместе и соединены винтами, шайбами и гайками.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Ефимов, И.П. Авиационные приборы: учеб. пособие / И. П. Ефимов ; УлГТУ. – Ульяновск : Изд-во УлГТУ, 2018. – 255 с. – ISBN 978-5-9795-1842-8
2. Князьков, В. В. SolidWorks/COSMOS Works. Компьютерное моделирование и инженерный анализ методом конечных элементов : учеб. пособие / В.В. Князьков ; НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – Н. Новгород : Изд-во НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2010. – 216 с. – ISBN 978-5-93272-827-7
3. Рыжова, А. А. Датчики температуры и ряда механических величин: учебно-методическое пособие / А. А. Рыжова, В. В. Кузьмин ; КНИТУ. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2018. – 116 с. – ISBN 978-5-7882-2466-4
4. Михайлов, О. И. Авиационные приборы / О. И. Михайлов, И. М. Козлов, Ф. С. Гергель ; СПбГУГА. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУГА, 1977. – 416 с.
5. Гузнецков, В. Н. SOLIDWORKS 2016: Трехмерное моделирование деталей и выполнение электронных чертежей: учеб. пособие / В. Н. Гузнецков, П. А. Журбенко, Т. П. Бондарева ; МГТУ им. Баумана. – Москва : Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017. - 124 с. – ISBN 978-5-7038-7463-3

УДК 629.544

Шерстюк Александр Игоревич, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Sherstyuk Alexander Igorevich, student, Komsomolsk-na-Amure State University

Боярчук Иван Михайлович, студент, Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Boyarchuk Ivan Mikhailovich, 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 МОРСКОГО КОНТЕЙНЕРОВОЗА ПОВЫШЕННОЙ КОНТЕЙНЕРОПРОВОЗНОСТИ**

### **CONCEPT OF A HIGH CONTAINER CAPACITY CONTAINER SHIP**

Аннотация. Основными направлениями повышения конкурентоспособности контейнеровозов являются: использование масштабного эффекта (повышение общей контейнеровместимости); увеличение энергетической эффективности, а также увеличение эффективности грузообработки в портах. Другим возможным путём повышения эффективности является разработка проектов контейнеровозов новых конструктивных концепций. В статье рассматривается перспективная концепция контейнеровоза оснащенного аутригерами, который обладает повышенной контейнеропровозностью за счет безбалластной транспортировки груза.

Abstract. The main directions for increasing the competitiveness of container ships are: using the scale effect (increasing the total container capacity); increasing energy efficiency, as well as increasing the efficiency of cargo handling in ports. Another possible way to increase effi-

ciency is to develop container ship designs with new design concepts. The article discusses a promising concept of a container ship equipped with outriggers, which has increased cargo capacity due to ballast-free cargo transportation.

Ключевые слова: контейнеровоз, эффективность, контейнеровместимость, проектная концепция, аутригер.

Key words: container ship, efficiency, container capacity, design concept, outrigger.

### Введение

Одной из главных проектных характеристик контейнеровоза является его контейнеровместимость. Если она определяет размеры судна, то для расчета экономических параметров эксплуатации следует использовать другую характеристику – контейнеропровозность. Провозоспособность контейнеровоза меньше его «чистой» вместимости и величина разницы между ними зависит от обеспечения требований параметров остойчивости судна. При этом коэффициент утилизации контейнеровместимости современных контейнеровозов независимо от их размеров лежит в достаточно широком диапазоне  $\eta_k=0,62 \dots 0,76$  [1].

Требуемые параметры остойчивости судна при постоянном дедейте могут быть обеспечены двумя методами: понижением аппликаты центра тяжести судна или увеличением значения метацентрического радиуса.

Понижение аппликаты центра тяжести достигается путем снижения контейнеровместимости с одновременным приемом балласта [2]. Это не требует внесения изменений в конструктивные особенности проекта, однако эксплуатация судна с балластом негативно влияет на окружающую среду.

Значение же метацентрического радиуса зависит от момента инерции ватерлинии, увеличение значения которого уже требует принятия технических решений.

### От монокорпуса к корпусу с аутригерами

Увеличение значения момента инерции ватерлинии технически можно реализовать несколькими способами.

Первый способ – увеличение ширины корпуса судна. Однако это негативно скажется на ходкости (за счет снижения отношения  $L/B$ ) и общей прочности корпуса (за счет увеличения отношения  $B/H$ ) (рисунок 1, а).

Второй способ – переход к архитектуре многокорпусного судна. В этом случае при сохранении и даже некотором увеличении ходовых качеств, происходит снижение трюмного пространства (рисунок 1, б)

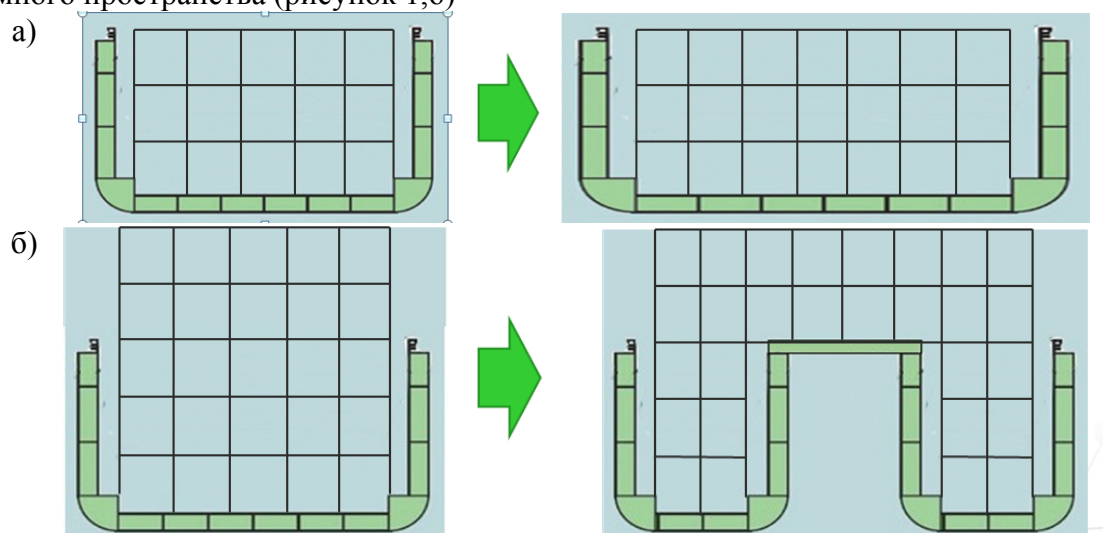


Рисунок 1 – Способы увеличения момента инерции ватерлинии:  
а) увеличение ширины б) переход к многокорпусной архитектуре

Еще одним методом увеличения остойчивости является использование аутригеров, которые нашли широкое применение в кораблестроении еще с древнейших времен [3].

Так, например проектная компания “Nigel Gee & Associates Ltd” разработала несколько концептуальных проектов высокоскоростного фидерного контейнеровоза с аутригерами (рисунок 2).

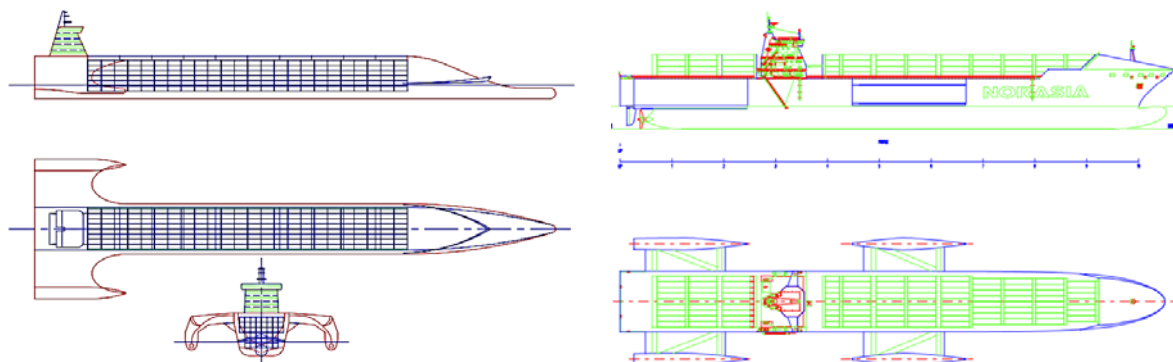


Рисунок 2 – Проекты контейнеровозов с аутригерами

### Концепт контейнеровоза с кормовой грузообработкой

Применение аутригеров приводит к увеличению ширины судна, что усложняет грузовые операции в порту. Поэтому, предлагается осуществление кормового способа грузообработки, при котором контейнеровоз швартуется кормой к пирсу и может проводить грузовые операции с помощью собственных грузовых устройств, в роли которых выступают козловые краны.

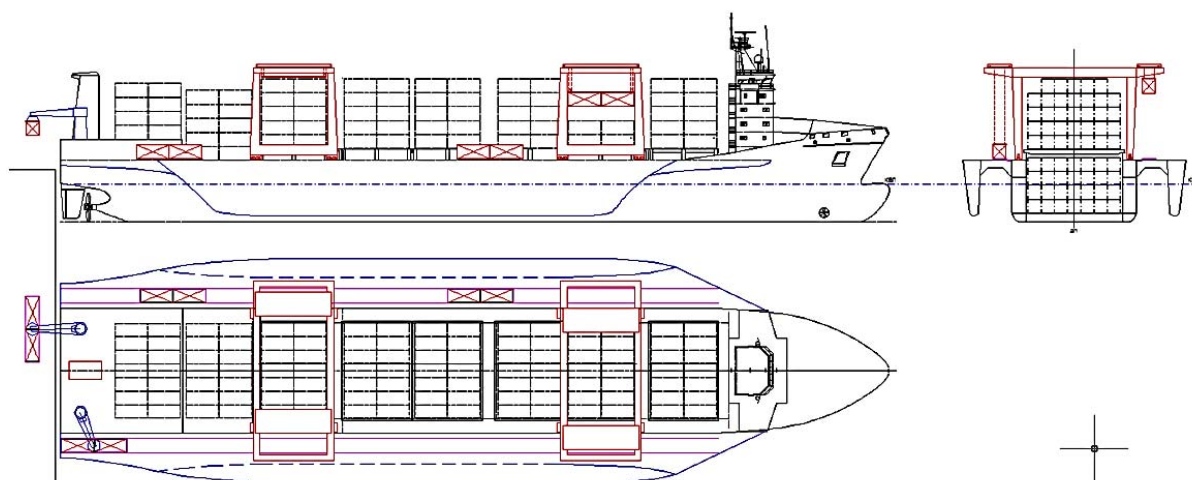


Рисунок 3 – Контейнеровоз с аутригерами с кормовой грузообработкой

Особенностью предлагаемого проекта является размещение блока помещений экипажа с ходовой рубки в носовой части корпуса с целью освобождения юта для проведения грузовых операций.

Сам перегрузочный процесс организуется в виде конвейера. Для этого на спонсоне корпуса с каждого борта организованы линии транспортеров по которым перемещаются грузовые платформы (тележки) с контейнерами. При этом пустые тележки перемещаются на бок в вертикальном положении. Сами козловые краны с контейнерами не перемещаются вдоль судна, а ведут грузовые операции по снятию контейнеров с грузовых платформ или погрузке контейнеров на них в определенных грузовых зонах. Подача (снятие) контейнеров на борт (с борта) судна осуществляется специальными кормовыми перегружателями в корме.

## Заключение

Чтобы определить область рационального использования контейнеровоза предлагаемой концепции необходимо провести проектно-экономический анализ в его сравнении с традиционным контейнеровозом. Для этого необходимо разработать математическую модель его проектирования. Одним из сложных вопросов разработки данной модели будет являться оценка мощности энергетической установки.

Для этого в математической модели проектирования предлагается оценивать увеличение сопротивления корпуса судна за счет применения аутригеров в виде поправочного коэффициента к сопротивлению основного корпуса. Значение данного коэффициента следует определять на основе результатов исследований ходкости проекта в опытовых бассейнах [4]. В КнАГУ есть опытовый бассейн, оснащенный необходимым экспериментальным оборудованием, который позволяет проводить данный вид исследований [5].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Боярчук, И. М. Особенности расчетных алгоритмов определения контейнеропробности судов / И. М. Боярчук, А. Д. Бурменский // 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. 120-123.

2. Арабаджи, К. Д. Особенности обеспечения остойчивости контейнеровозов / К. Д. Арабаджи, А. Д. Бурменский // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов : материалы 46-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 01–15 апреля 2016 года. – Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2016. – С. 28-30.

3. Руденко, С. А. Высокомореходное судно с аутригерами / С. А. Руденко // Судостроение. – 2005. – № 2(759). – С. 15-17.

4. Зайцев, О. А. Исследование гидродинамических характеристик и управляемости многокорпусного судна - тримарана / О. А. Зайцев, Н. А. Смолина // Труды Центрального научно-исследовательского института им. академика А. Н. Крылова. – 2011. – № 59(343). – С. 123-134.

5. Тарануха, Н. А. Гидродинамический опытовый бассейн КнАГТУ / Н. А. Тарануха, Н. А. Мытник, С. Д. Чижиумов, А. Д. Бурменский, А. А. Козлов // Мореходство и морские науки-2009 : избранные доклады Второй Сахалинской региональной морской научно-технической конференции – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2010. – С. 231-246.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СЕКЦИЯ. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>Акулина А. А., Щелкунов Е. Б.</b> АНАЛИЗ МЕТОДОВ 3D-ПЕЧАТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИЗГОТОВЛЕНИЮ ДЕТАЛИ КАЧАЛКА.....	4
<b>Белоусов С. В., Бахматов П. В.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СБОРКИ СВАРНЫХ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	7
<b>Бузунова А. Е., Серебренникова А. Г.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ ПК-1/1,2 ЗА СЧЕТ УМЕНЬШЕНИЯ ПОПАДАНИЯ ЖИДКОСТИ ОТ КОНДЕНСАТООБРАЗОВАНИЯ.....	9
<b>Войтович Р. А., Бахматов П. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ В ЗОНУ ДЕЙСТВИЯ ДУГИ И ЕГО ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	12
<b>Девясилова П. С., Проценко А. Н.</b> РАСЧЕТ КОЛОННЫ УЗК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА В ТОПЛИВНОМ ГАЗЕ МЕНЕЕ 0.5%об.....	15
<b>Загидуллин Р. С., Крюкова А. К., Михеев М. А., Ткаченко А. А.</b> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ СЕРИЙНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	18
<b>Зайцева Е. А., Проценко А. Е.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ МЕТИЛДИЭТАНОЛАМИНА.....	21
<b>Захарченко Д. А., Григорьев В. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИНЫ В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА.....	23
<b>Ильин А. М., Отряскина Т. А.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЗОТА НА НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЕ ПИЛЬТУН-АСТОХСКАЯ-Б.....	26
<b>Истомина М. С., Шакирова О. Г.</b> АМИНОВАЯ ОЧИСТКА КИСЛЫХ ГАЗОВ.....	29
<b>Карпенко Е. С., Проценко А. Е.</b> ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ КОКСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТРУБАХ ПЕЧИ УЗК.....	32
<b>Космынин А. А., Щетинин В. С.</b> ЗАВИСИМОСТЬ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ОТ ПЛОЩАДИ ЧАСТИЧНО ПОРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР.....	34
<b>Кочнев Е. А., Плетнев Н. О., Клешина О. Н.</b> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТИТАНОВЫХ ЛОПАТОК ИМПЕЛЛЕРА.....	37
<b>Кравченко А. К., Отряскина Т. А.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОЛОННЫ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТНОТОЧНОЙ НАСАДКИ.....	40
<b>Крупина К. А., Отряскина Т. А.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ЗАВОДЕ.....	43
<b>Куклина А. М., Кравченко Е. Г.</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКОВ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОГРАММЕ 1С «МЕТРОЛОГИЯ».....	46

<b>Ларин О. А., Григорьев В. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТА В КАЧЕСТВЕ ПОДДУВА ПРИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ.....	50
<b>Любимский Р. В., Григорьев В. В.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ И СВАРКИ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ГИДРОКРЕКИНГОВОЙ УСТАНОВКИ.....	53
<b>Люй Л</b> ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВА 7075 ДО И ПОСЛЕ НАНЕСЕНИЯ НА НЕГО МДО ПОКРЫТИЯ.....	55
<b>Люхо И. А., Пильщикова А. С., Калугина А. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРРОЗИИ В НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ AISI 316 НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТИНЧАТОГО РАЗБОРНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА.....	58
<b>Мазанко А. В., Комарова Т. В., Федулов Е. А.</b> ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ИЗОМЕРИЗАЦИИ.....	60
<b>Мазанко А. В., Сафонова Е. О., Чернавцева Н. А., Федулов Е. А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АМИНОВОЙ ОЧИСТКИ ТОПЛИВНОГО ГАЗА.....	64
<b>Максимова О. Е., Кравченко Е. Г.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА.....	67
<b>Миронова П. Г., Середа Н. А.</b> МЕЖВАЛЬЦОВЫЕ ПЕРЕДАЧИ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ МАШИН.....	70
<b>Михайлов С. О., Проценко А. Е.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВИСБРЕКИНГА.....	73
<b>Морозова Т. Д., Шакирова О. Г.</b> КОМПЛЕКСЫ ЖЕЛЕЗА(II) С 2,6-БИС(1Н-ИМИДАЗОЛ-2-ИЛ)-4- ХЛОРОПИРИДИНОМ.....	75
<b>Немолякина Е. А., Щелкунов Е. Б.</b> АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВИАСТРОЕНИИ.....	78
<b>Останин Ю. А., Бахматов П. В.</b> ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ВЛАГИ В ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЯХ.....	81
<b>Отряскина А. А., Отряскина Т. А.</b> РЕКОНСТРУКЦИЯ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМА.....	84
<b>Павловская Д. А., Отряскина Т. А.</b> ЗАЩИТА КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ СЖИГАНИИ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ.....	87
<b>Панфилова Т. С., Щелкунов Е. Б.</b> ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ КРОНШТЕЙН С ПОМОЩЬЮ САМ-СИСТЕМЫ.....	89
<b>Поправко Д. Г., Григорьев В. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ЭЛЕКТРОННО- ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛИ «ШПАНГОУТ»....	91
<b>Рак Д. А., Бахматов П. В.</b> ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА.....	94
<b>Сафонов Г. Д., Бахматов П. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДЫ И ПАРАМЕТРОВ ПОДДУВА НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШВА.....	97

<b>Сафроненко О. В., Кравченко Е. Г.</b> ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ ПО УТВЕРЖДЕНИЮ ТИПА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ НЕУТВЕРЖДЕННОГО ТИПА.....	100
<b>Скуратов Е. В., Бахматов П. В.</b> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ СТАЛЬНЫХ ВАЛОВ.....	103
<b>Старцев Е. А., Бахматов П. В.</b> ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФЛЮСА.....	106
<b>Сычева А. А., Проценко А. Е.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕЧИ УЗК.....	108
<b>Терехов Д. Н., Проценко А. Н.</b> ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ИЗОМЕРИЗАЦИИ В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПРОЦЕССА.....	111
<b>Холощак К. М., Кравченко Е. Г.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ АККРЕДИТАЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗАВОДСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА.....	114
<b>Хрипкова В. А., Серебrenникова А. Г.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ ДЕТАЛИ «КАРЕТКА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САД/САЕ-СИСТЕМ.....	117
<b>Цзян С., Люй Л., Чжао Ц., Бурдасова А. А., Башков О. В.</b> ВЛИЯНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ НА ТОЛЩИНУ ПОКРЫТИЯ И МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА.....	120
<b>Чжао Ц., Цзян С., Люй Л., Башков О. В., Башкова Т. И.</b> ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ТОЛЩИНУ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОКРЫТИЯ, ФОРМИРУЕМОГО ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В95.....	123
<b>Ширяев А. С., Бахматов П. В.</b> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ТРУБНЫХ ДОСОК.....	126
<b>Шуляк Д. А., Проценко А. Н.</b> ИЗУЧЕНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ БЕНЗИНА НА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕДИ(II) И КОБАЛЬТА(II) В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ.....	129
<b>Янченко М. И., Башкова Т. И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ.....	132
<b>Янченко К. Р., Калугина А. А., Башкова Т. И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗЪЕМНЫХ ПАЯНЫХ МУФТОВЫХ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ С ЦЕЛЬЮ УСТАНОВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ПАЙКИ.....	135
<b>СЕКЦИЯ. АВТОМАТИКА, ЭЛЕКТРОПРИВОД И РОБОТОТЕХНИКА.....</b>	137
<b>Алтухов С. Е., Стельмашук С. В.</b> РЕАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ КОМПЕНСАЦИЯ СКОРОСТНОЙ ОШИБКИ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТИПОВОЙ НАСТРОЙКОЙ.....	138
<b>Ашрафджонзода Ш., Азимов Х. Х.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИВОДА ВОЗВРАТНО – ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK.....	141



<b>Ашрафджонзода Ш., Сухоруков С. И.</b> ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ.....	144
<b>Башков Д. А., Горькавый А. И.</b> МОДАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ЧАСТОТНЫМ СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	147
<b>Бобровский Н. П., Хохлов Р. Е., Савельева А. С., Савельев Д. О.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РОБОТА МАНИПУЛЯТОРА.....	150
<b>Геращенко В. В., Горькавый А. И.</b> СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ, РАБОТАЮЩИМ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ.....	153
<b>Григорец Р. Д., Сухоруков С. И.</b> АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СТРУКТУР РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	156
<b>Грищенко Ф. В., Поточеский А. М., Савельева А. С., Савельев Д. О.</b> РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ РАСЧЕТА УГЛОВ ПОВОРОТА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТРЕХОСЕВОГО РОБОТА МАНИПУЛЯТОРА.....	159
<b>Дербенёв А. А., Горькавый А. И.</b> ПОЗИЦИОННО-СИЛОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАТРОННЫМИ МОДУЛЯМИ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА.....	162
<b>Деркач И. Ю., Сухоруков С. И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	165
<b>Дубенко И. М., Малюкова А. И.</b> НЕЧЕТКИЙ ПОДХОД К РЕГУЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ.....	167
<b>Едич М. А., Горькавый А. И.</b> ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЗАИМОСВЯЗАННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА.....	169
<b>Емельянов К. А., Черный С. П.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗВИТЫХ НЕЧЕТКИХ АЛГОРИТМОВ.....	173
<b>Желевский А. Д., Малюкова А. И.</b> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ DTC ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКЕ.....	176
<b>Иванов Д. Р., Бузикаева А. В.</b> ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДВУХКАСКАДНОЙ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	178
<b>Иванов Д. Р., Бузикаева А. В.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУР УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОДХОДА.....	181
<b>Иванюта Я. С., Сухоруков С. И.</b> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИЛАМЕНТА ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ.....	184
<b>Кобозев Д. А., Соловьев В. А.</b> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПРИВОДАМИ ПИТАТЕЛЬНЫХ НАСОСОВ НА КОМСОМОЛЬСКОЙ ТЭЦ-3.....	187

<b>Кузнецов Д. Е., Мешков А. С.</b> ПРИМЕНЕНИЕ СИЛОВОЙ КОРРЕКЦИИ В СИСТЕМЕ «ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА».....	190
<b>Литвинцева А. А., Пазий Е. А., Савельева А. С., Савельев Д. О.</b> ОСОБЕННОСТИ НАЛИЧИЯ ЗАДЕРЖЕК ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В КАНАЛАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТА ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ.....	194
<b>Лямин М. А., Бузикаева А. В.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПА ПОСТРОЕНИЯ ДВУХКАСКАДНОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ.....	196
<b>Лямин М. А., Черный С. П.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРИМЕРЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ.....	199
<b>Ляпин В. В., Табаров Б. Д., Соловьев В. А., Кизиль Е. В.</b> ВОЗМОЖНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗВЕТВЛЕННОЙ СЕТИ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ГОРОДСКОГО ОКРУГА.....	202
<b>Минебаев Н. Л., Горькавый А. И.</b> ВЫЧИСЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ЗВЕНЬЕВ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДВИЖЕНИЯ.....	205
<b>Мурзин Е. К., Стельмашук С. В.</b> ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В СРЕДЕ SIMINTECH.....	208
<b>Недоедко А. О., Сухоруков С. И.</b> РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СБОРКИ ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ.....	211
<b>Неъматиллоев Ш. Л., Табаров Б. Д.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ.....	213
<b>Савельева А. С., Безнаев Т. Е., Савельев Д. О., Черный С. П.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	216
<b>Самар Д. Е., Егоров В. А.</b> РАЗРАБОТКА НАБЛЮДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ.....	220
<b>Саяпина П. О., Крупский Р. Ф.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ УСКОРИТЕЛЯМИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СРЕД.....	223
<b>Сбитнев Н. Р., Петровский К. П., Савельев Д. О., Черный С. П.</b> ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ПЛАТФОРМЫ СТЮАРТА.....	226
<b>Томских А. А., Савельев Д. О., Черный С. П.</b> ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АВТОНОМНЫМ НЕОБИТАЕМЫМ ПОДВОДНЫМ МОДУЛЕМ.....	228
<b>Шелковников В. Ю., Соловьев В. А.</b> АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА.....	231
<b>Шушарин Н. С., Сухоруков С. И.</b> ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОЧЕРЕДИ КОМАНД В ПЛК ПОСРЕДСТВОМ ПАНЕЛИ ОПЕРАТОРА.....	233

<b>Яненко А. В., Соловьёв В. А.</b> О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СМАРТ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ «УМНОГО ДОМА».....	236
<b>СЕКЦИЯ. ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА.....</b>	<b>239</b>
<b>Азимов Х. Х.</b> АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ.....	240
<b>Борисов М. И., Кузьмин Р. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ КАСКАДНЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ.....	242
<b>Бутко В. П., Кузьмин Р. В.</b> ВАРИАНТЫ КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ РОТОРА ДУГОСТАТОРНОГО ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА.....	244
<b>Дружинин В. А., Иванов С. Н.</b> ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЬДООБРАЗОВАНИЯ.....	247
<b>Ескина И. А., Шевкунова А. В.</b> ОБЗОР МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	249
<b>Иванов В. В.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ.....	253
<b>Исаев М. С., Баранов Е. В.</b> ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ.....	256
<b>Каландаров Н. М., Янченко А. В.</b> РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СКЛАДА.....	258
<b>Клюшин К. Н., Баранов Е. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В ЭНЕРГЕТИКЕ.....	261
<b>Колесник М. Б.</b> АЛГОРИТМ РАСЧЕТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	264
<b>Кривошапов Н. А.</b> РАЗРАБОТКА МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА С МАЛЫМ МОМЕНТОМ ТРОГАНИЯ ДЛЯ ВЕТРОУСТАНОВКИ.....	269
<b>Кузин Г. В., Баранов Е. В.</b> ГЛУБОКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ХАБАРОВСКОЙ ТЭЦ-3.....	272
<b>Лалетина Ю. Г., Хвостиков А. С.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ.....	275
<b>Мирошниченко Е. Е.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОНОЙ МАШИНЫ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАЗОРА.....	277
<b>Падерина О. В., Попов А. Ю.</b> СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЖУХОТРУБНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ....	280
<b>Палков К. А., Кузьмин Р. В.</b> АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	283
<b>Пашкевич В. И., Смирнов А. В.</b> ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ.....	286
<b>Попов А. А., Скрипилев А. А.</b> ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ПОДЪЁМНОГО КРАНА.....	288

<b>Рахматуллин С. С.</b> АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАСЧЕТА УСТАВОК ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ ЛЭП СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ.....	291
<b>Ремденков В. Е., Хвостиков А. С.</b> МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НА НЕПРОЕКТОМ ТОПЛИВЕ С БОЛЕЕ ВЫСОКОЙ ТЕПЛОТОЙ СГОРАНИЯ.....	294
<b>Ротормель О. Ю., Попов А. Ю.</b> ОЦЕНКА ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОПРОВОДОВ.....	296
<b>Рудева Е. Д., Шевкунова А. В.</b> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СТАЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ....	298
<b>Тураков И. А.</b> СТЕНД ПОВЕРКИ ШУНТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА.....	301
<b>Хокимов А. А., Хвостиков А. С.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ Т-55-130.....	304
<b>Хусаинова А. Ф., Маклецов А. М.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАТИВНОГО УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4-10 КВ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ ПУНКТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ.....	306
<b>Цыкунова А. А.</b> ПРОБЛЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК.....	309
<b>Цыкунова А. А., Сериков А. В.</b> АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕРЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ.....	313
<b>Черепанов Н. И., Соловьев В. А.</b> СИСТЕМА ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ.....	315
<b>Шевкунова А. В., Ольховатов Д. В.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СКАЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПРИВОДА МОТОР-КОМПРЕССОРА.....	318
<b>СЕКЦИЯ. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ.....</b>	321
<b>Батурин А.А., Марущенко С.Г.</b> РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ.....	322
<b>Боцманов А.В., Фролов А.В.</b> МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БЛОКОВ БАТАРЕИ АККУМУЛЯТОРОВ.....	324
<b>Ворощенко В.Д.</b> ПЛАНИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ТРАЕКТОРИЙ РОБОТА В РАМКАХ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПОКРАСКИ ЭЛЕМЕНТОВ ФЮЗЕЛЯЖА.....	327
<b>Грабарь Д.М.</b> ОЦЕНКА ПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА РОБОТА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ.....	330
<b>Гнатик Д.Е., Куделько А.Р.</b> НАПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	332

<b>Евдокимов И.П.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	335
<b>Клопов А.Н.</b> РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХСРЕДНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	337
<b>Ковпик В.Н., Марущенко С.Г.</b> РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКОЙ.....	339
<b>Кожан М.В., Копытов С.М.</b> СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО РАДИОУПРАВЛЕНИЯ КРАНОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ.....	342
<b>Кольцов В.С., Копытов С.М.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛИС ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЗВУКОВ И УПРАВЛЕНИЯ ГРОМКОСТЬЮ ЗВУЧАНИЯ.....	344
<b>Короткий М.М., Фролов А.В.</b> УПРАВЛЕНИЕ ШАГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СВАРОЧНОГО ВРАЩАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА.....	347
<b>Лежнин А.М.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СБОРА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ.....	349
<b>Локтионов Г.А., Копытов С.М.</b> СТЕНД ДЛЯ АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ.....	352
<b>Маслов В.И., Куделько А.Р.</b> ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....	354
<b>Медовник С.Г., Шибeko P.В.</b> ЗВУКОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАДИОНА.....	357
<b>Медовник С.Г., Шибeko P.В.</b> СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПРОКАТА.....	360
<b>Медовник С.Г., Шибeko P.В.</b> СИСТЕМА ПОДДЕРЖАНИЯ МИКРОКЛИМАТА В АВИАДИСПЕТЧЕРСКОЙ.....	363
<b>Минько Д.А., Куделько А.Р.</b> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ.....	366
<b>Обухов П.В.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДЗАРЯДКИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	369
<b>Овчаренко П.А., Фролов А.В.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ АНТЕНН.....	371
<b>Огнев А.А., Шибeko P.В.</b> КАЛИБРАТОР ДАВЛЕНИЯ.....	373
<b>Огнев А.А., Шибeko P.В.</b> СИСТЕМА НАЛИВА СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ЦИСТЕРНЫ.....	376
<b>Огнев А.А., Шибeko P.В.</b> УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ПАССАЖИРСКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ.....	380
<b>Офимкина В.М., Копытов С.М.</b> МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ДАЛЬНОМЕР ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМ ЗРЕНИЕМ.....	382

<b>Прохоров К.К.</b> СИСТЕМА ОТБОРА СОТРУДНИКА И ВЫЯВЛЕНИЯ УХУДШЕНИЯ В ЕГО СОСТОЯНИИ.....	385
<b>Реков С.С., Марущенко С.Г.</b> КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ПЛАТФОРМЫ NI MYRIO.....	388
<b>Рыжиков Д.С., Любушкина Н.Н.</b> РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В СРЕДЕ LABVIEW.....	391
<b>Савин А.Е., Фролов А.В.</b> УСТАНОВКА ДЛЯ СМЕШИВАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	393
<b>Савченко С.В., Шибeko P.В.</b> ФАСОВОЧНЫЕ ВЕСЫ.....	396
<b>Савченко С.В., Шибeko P.В.</b> СИСТЕМА УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	399
<b>Савченко С.В., Шибeko P.В.</b> СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ ЗАВОДСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ.....	402
<b>Тимохин П. А., Копытов С.М.</b> УСТРОЙСТВО ПОВОРОТА ВАЛА НА ТРЕБУЕМЫЙ УГОЛ.....	404
<b>Шевченко Г.Е., Фролов А.В.</b> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ.....	407
<b>Щербаков А.М.</b> МОДЕЛЬ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ВАГОНОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	409
<b>СЕКЦИЯ. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....</b>	413
<b>Андрианов И. К., Чепурнова Е. К.</b> ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ КАПСУЛЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛОПАТОК ГАЗОВЫХ ТУРБИН.....	414
<b>Гулина Н. А., Монастырская Е. И., Трещев И. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ СИГНАЛОВ ЗА СЧЕТ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	417
<b>Кошелев Д. С., Мешков А. С.</b> РАБОТА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ.....	420
<b>Кошелев Д. С., Вакулюк А. А.</b> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ.....	422
<b>Иванов П. О., Ткачева Ю. И.</b> О ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРЫЛА САМОЛЕТА.....	424
<b>Кара Балли М., Ткачева Ю. И., Новгородов Н. А.</b> РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА, ПОМЕЩАЕМОГО В КАПСУЛУ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТРЕЩИН В ЛОПАТКЕ ТУРБИНЫ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	427
<b>Кара Балли М., Ткачева Ю. И., Гринкруг М. С.</b> РАЗРАБОТКА УПРОЩЕННОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВНУТРИ КАПСУЛ В СИСТЕМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ МИКРОТРЕЩИН В ЛОПАТКЕ ТУРБИНЫ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	430

<b>Костиков С. А., Гринкруг М. С.</b> ОСОБЕННОСТИ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.....	433
<b>Костиков С. А., Гринкруг М. С.</b> О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В МАЛОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	436
<b>Пухов А. А., Гринкруг М. С.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ ТОКА ЭЛЕКТРОЛИЗА ОТ НАПРЯЖЁННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ В КАЧЕСТВЕ СРЕДЫ.....	439
<b>Пухов А. А.</b> К ВОПРОСУ О ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМАХ ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИЙ ЭЛЕКТРОЛИЗА НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ.....	442
<b>Семенько Д. М., Новгородов Н. А.</b> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОНИЖАЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА ОТ НАГРУЗКИ.....	445
<b>Вильдайкин Г. Ф., Тихоновецкий Д. В.</b> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ В НИЗКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	448
<b>Ткачёва Н. А., Ткачева Ю. И.</b> ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ.....	451
<b>Усынин М. В., Гринкруг М. С., Ткачёва Н. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОРСКИХ ВОЛН.....	454
<b>Усынин М. В., Гордин С. А.</b> АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РЕЗИНЫ.....	456
<b>Чепкасов Д. Е., Новгородов Н. А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОМЕНТА ОТКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗОК НА УРОВЕНЬ ФАЗНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПОНИЖАЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА.....	459
<b>СЕКЦИЯ. НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ, АВИАЦИОННАЯ И МОРСКАЯ ТЕХНИКА.....</b>	463
<b>Абдулин В. И., Потянихин Д. А.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕСТА КРЕПЛЕНИЯ ПОДШИПНИКА В ШАРИКО-ВИНТОВОМ МЕХАНИЗМЕ НАВЕСКИ СЕКЦИЙ ЗАКРЫЛКА.....	464
<b>Агулов В. А., Кириакиди С. К.</b> ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ МЕЖДУ ДЕФЛЕКТОРОМ ЗАКРЫЛКА И КРЫЛОМ СКВП НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ РЕЖИМА «ПОСАДКА».....	467
<b>Андрианов И. К., Феоктистов С. И., Лин Тхет</b> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ АВТОФРЕТИРОВАНИИ ТОЛСТОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ.....	470
<b>Аникин К. С., Бобков А. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ AR ТЕХНОЛОГИИ В АВИАСТРОЕНИИ.....	474
<b>Боярчук И. М., Бурменский А. Д.</b> ЭВОЛЮЦИЯ РАЗВИТИЯ МОРСКИХ КОНТЕЙНЕРОВОЗОВ.....	476
<b>Воронков И. О., Красильникова О. А.</b> ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.....	479

<b>Герасимов А. Г., Кривенко М. Ю.</b> ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПЫТНЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ.....	482
<b>Гой О. А., Журбина И. Н.</b> АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ СМЕШАННОГО РЕКА-МОРЕ ПЛАВАНИЯ.....	485
<b>Груздев А. С., Падурарь И. О.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МЕСТНЫХ ПОТЕРЬ В ТРУБОПРОВОДНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ АВИАЦИОННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА.....	489
<b>Евтеев Н. С., Мирошниченко Е. Е.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В КАЧЕСТВЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ.....	492
<b>Жарченко Е. В., Кувшинов С. А., Бобков А. В.</b> ПРОБЛЕМЫ БАЛАНСИРОВКИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ...	495
<b>Загородний А. Е., Марьин С. Б.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЖНЕГО С-ОБРАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ КЛЕПАЛЬНОГО АВТОМАТА.....	498
<b>Казанцев Д. В., Кириченко В. В., Бурменский А. Д.</b> ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ОПЫТОВЫЙ БАССЕЙН КНАГУ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ.....	501
<b>Ким Н. С., Гунькова О. В.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРЕВОЗКИ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА ИЗ РОССИИ НА ЭКСПОРТ.....	504
<b>Корунова В. С., Каменских И. В.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗКИ ЦЕМЕНТА.....	506
<b>Ло Чэнчжао, Журбина И. Н.</b> КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУПОГРУЖНЫХ СУДОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ.....	509
<b>Лю В., Каменских И. В.</b> АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТАНКЕРОВ СРЕДНЕЙ ВМЕСТИМОСТИ.....	511
<b>Митрофанов Н. А., Кириакиди С. К.</b> ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ПОДЪЕМНОЙ СИЛЫ КРЫЛА СКВП РЕЖИМА «ПОСАДКА» ОТ ДЛИНЫ И УГЛА УСТАНОВКИ НОСОВОГО ЩИТКА ОСНОВНОГО ЗВЕНА ДВУХЦЕЛЕВОГО ЗАКРЫЛКА.....	513
<b>Морозов Е. Д., Журбина И. Н.</b> ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПАС-3D ПРИ РАСЧЕТАХ ПРОЧНОСТИ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	517
<b>Морозов Е. Д., Айрих И. И., Журбина И. Н.</b> РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СУДНА В РАЗРЕЗЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ.....	520
<b>Москаленко А. А., Каменских И. В.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТАВКИ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ДО НИКОЛАЕВСКА-НА-АМУРЕ.....	523
<b>Петров И. А., Гунькова О. В.</b> ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТАВКИ БРУСА КЛЕЕНОГО ИЗ РОССИИ В КИТАЙ.....	525
<b>Самойлова А. В., Журбина И. Н.</b> САЕ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ДНИЩЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ СУДНА-ГАЗОВОЗА.....	528
<b>Синельщиков А. А., Потянихин Д. А.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ЖЕСТКОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ РАЗДАЧИ ТРУБЧАТОЙ ДЕТАЛИ.....	531



<b>Соколов Д.А., Петров В. С., Куриный В. В.</b> РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ КОЛПАКОВ НА СЕКТОРНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ.....	534
<b>Соколов Д.А., Свиридов А. В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МАКЕТОВ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ.....	536
<b>Федоров В. Е., Седунов Я. А., Миташова Т. А.</b> ЗАВИСИМОСТЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ОТ МАСШТАБИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА САМОЛЁТНОГО ТИПА.....	539
<b>Филатова Е.Е., Епринцев М. А.</b> РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРИЕМНИКА ТЕМПЕРАТУРЫ П-5 В SOLIDWORKS.....	543
<b>Шерстюк А. И., Боярчук И. М., Бурменский А. Д.</b> КОНЦЕПЦИЯ МОРСКОГО КОНТЕЙНЕРОВОЗА ПОВЫШЕННОЙ КОНТЕЙНЕРОПРОВОЗНОСТИ.....	545

*Научное издание*

**МОЛОДЕЖЬ И НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Часть 1

Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции  
молодых учёных  
Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2024 г.

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 10.06.24.

Формат 60×84 1/8. Бумага 65 г/м<sup>2</sup>. Ризограф EZ 570E.

Усл. печ. л. 32,76. Уч.-изд. л. 31,50. Тираж 100 экз. Заказ 31139.

Редакционно-издательский отдел  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»  
681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.