

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Б. Я. Мокрицкий, В. В. Алтухова, Д. А. Пустовалов

**УПРАВЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ИЗДЕЛИЯ,
РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ПРОЦЕССА МИКРОШАБРЕНИЯ**

Утверждено в качестве учебного пособия
Учёным советом Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

*Под общей редакцией профессора,
доктора технических наук Б. Я. Мокрицкого*

Комсомольск-на-Амуре
2014

УДК 621.3.011.7:621-047.84(07)

ББК 31.211+34.5я7

М749

Рецензенты:

Кафедра «Станки и инструменты» ФГБОУ ВПО
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»,
заведующий кафедрой профессор, доктор технических наук
Е. В. Артамонов;

М. Ю. Куликов, профессор, доктор технических наук, заведующий
кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта
подвижного состава» ФГБОУ ВПО «Московский государственный
университет путей сообщения»

Мокрицкий, Б. Я.

М749 Управление конструктивными параметрами изделия, работающего в условиях процесса микрошабрения : учеб. пособие / Б. Я. Мокрицкий, В. В. Алтухова, Д. А. Пустовалов ; под общ. ред. Б. Я. Мокрицкого. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 63 с.

ISBN 978-5-7765-0971-1

В учебном пособии рассматривается задача управления (выбора) конструктивными параметрами изделия путём удовлетворения электротехнических требований к параметрам качества электрической цепи. Работа представляет собой пример электротехнического расчёта машиностроительного изделия, работающего в электрической цепи и выполняющего свои функции за счёт самозачистки поверхностей электрического контакта от ржавчины и продуктов трения путём реализации процесса шабрения. Также изложены методология и последовательность выполнения работ по созданию изделия.

Пособие предназначено для специалистов машиностроительных предприятий, бакалавров и магистров техники и технологий направления подготовки 151900 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и может быть использовано при изучении ряда вариативных дисциплин, связанных с основами проектирования изделий.

УДК 621.3.011.7:621-047.84(07)

ББК 31.211+34.5я7

ISBN 978-5-7765-0971-1

© ФГБОУ ВПО «КнАГТУ»,
2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	7
1.1. Назначение соединителя рельсового шаберного.....	8
1.2. Устройство и работа соединителя.....	9
1.3. Физические и технические эффекты, положенные в основу процесса шабления.....	15
1.4. Результаты эксплуатации соединителя.....	17
<i>Контрольные вопросы.....</i>	23
2. ОТДЕЛЬНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ «СОЕДИНИТЕЛЬ РЕЛЬСОВЫЙ ШАБЕРНО-ПРУЖИННЫЙ»	23
2.1. Этапы разработки и постановки продукции на производство...	24
2.2. Исходные требования к создаваемой продукции.....	24
2.3. Техническое задание на разработку соединителя.....	31
2.4. Разработка технических условий на продукцию.....	34
2.5. Примеры защиты решений принципиальных устройств соединителя.....	38
<i>Контрольные вопросы.....</i>	40
3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ СОЕДИНИТЕЛЯ РЕЛЬСОВОГО ШАБЕРНО-ПРУЖИННОГО ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ РЕЖИМУ РАБОТЫ ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ.....	40
3.1. Расчёт параметров рельсового соединителя при пропускании сто процентного тягового тока через один соединитель.....	41
3.2. Расчёт электрического сопротивления соединителя при повышенном значении тока в рельсовом стыке.....	44
3.3. Расчёт электрических потерь и падения напряжения в соединителе при протекании тока $I_p = 500$ А.....	45
3.4. Расчёт параметров рельсового соединителя при пропускании тягового тока через два соединителя.....	45
3.5. Расчёт параметров рельсового соединителя при пропускании пятидесятипроцентного тягового тока через два соединителя...	47
3.6. Расчёт параметров рельсового соединителя при пропускании сто процентного тока управления через один соединитель.....	48
3.7. Расчёт параметров соединителя при пропускании сто процентного тока управления через два соединителя.....	49
3.8. Расчёт температуры элементов соединителя при пиковых значениях тягового тока $I = 1500$ А, действующего в течение пяти секунд.....	50
3.9. Расчёт температуры нагрева пружины.....	54

3.10. Расчёт коэффициента теплоотдачи с токоведущих элементов соединителя.....	56
3.11. Общие выводы и рекомендации, полученные на основе анализа результатов электротехнических расчётов.....	58
<i>Контрольные вопросы</i>	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	60
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	61

ПРЕДИСЛОВИЕ

Каждая отрасль имеет свои особенности. Это накладывает отпечаток и на этапы проектирования.

Но в целом методология проектирования одина для изделий всех типов и всех назначений.

В пособии рассматриваются аспекты отдельных этапов проектирования изделий на примере железнодорожной отрасли. Выбором именно этой области являлись следующие причины:

- в железнодорожной отрасли большая часть документов «написана кровью» в прямом и переносном смысле, т.е. всякое новое изделие там проходит строго регламентированные этапы проектирования, за невозможностью отклонения от которых призваны следить ряд Департаментов и служб ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»);

- у авторов есть опыт внедрения изделий, в том числе и в эту отрасль, причём то изделие, на примере которого рассмотрены отдельные этапы проектирования, внедрено в количестве миллиона штук и эксплуатируется до сих пор либо заменяется аналогичным модернизированным изделием.

Таким изделием является «Соединитель рельсовый шаберно-пружинный типа СРШП».

Изделие «Соединитель рельсовый шаберно-пружинный типа СРШП» создано на ЗАО «Дальневосточная технология» (прекратило своё существование в 2008 г.).

Руководителем проекта и его главным инженером являлся Б. Я. Мокрицкий. Изделие разрабатывалось по заданию ЦШ ОАО «РЖД» (Департамент автоматики и телемеханики ОАО «РЖД», начальник отдела новых разработок Е. Н. Гоман).

Приводимые в работе сведения являются действительными и не имеют запрета ОАО «РЖД» на опубликование. Более того, часть из решений защищена патентами на изобретения и полезные модели [1 – 5], т.е. данные сведения являются общедоступными.

Авторы пособия благодарят сотрудников ЗАО «Дальневосточная технология», сотрудников Департаментов ЦП и ЦШ, руководителей и специалистов ряда железных дорог ОАО «РЖД» РФ за помощь и содействие в разработке, испытании, внедрении и сертификации изделия. Авторы также благодарят сотрудников ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», оказавших консультирование по отдельным материалам пособия: А. В. Янченко, О. П. Харину, А. В. Артёменко, А. В. Ступина.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение надёжности работы электрических рельсовых цепей при эксплуатации участков железных дорог может быть достигнуто за счёт применения соединителей рельсовых шаберных. Они позволяют исключить применение приварных и дублирующих штепсельных соединителей.

Соединитель рельсовый шаберно-пружинный призван решать проблему повышения надёжности работы электрических сигнальных и тяговых цепей.

На момент его создания проблема выглядела следующим образом:

- электропроводность в рельсовом стыке обеспечивается механическим контактом рельсовых накладок с рельсами;

- по мере эксплуатации в месте контакта рельсовых накладок с рельсами образуется ржавчина и продукты трения. И то и другое является электроизолятором, в результате происходит рост электросопротивления рельсового стыка и отказ рельсовой цепи;

- производят дублирование электрической рельсовой цепи в месте рельсового стыка за счёт применения приварных тросовых соединителей и за счёт электротяговых соединителей. Первые со временем отказывают из-за образования трещин по месту сварки (сложно соблюсти правильные условия сварки). Вторые имеют разную конструкцию, но идеология их одина [4]: в шейках соединяемых рельсов изготавливают отверстия, в них монтируют пальцы соединителя, пальцы соединены тросом. Отказ такого устройства со временем неизбежен, т.к. здесь, как и в контакте «рельсовая накладка-рельс», всегда будет образовываться продукт трения, обладающий электроизоляционными свойствами, что и приведёт к отказу рельсовой цепи.

Решение проблемы возможно разными путями. Рациональным оказалось решение, идеология которого состоит в следующем: электроизоляционные продукты трения необходимо удалять из зоны электрического контакта с такой интенсивностью, с какой они образуются, тогда это не нанесёт вреда рельсу и будет поддерживать постоянство электросопротивления в контакте; удалять продукты можно разным методом, в том числе и шабрением (микрорезанием).

В силу указанных причин изделие названо соединителем рельсовым шаберно-пружинным.

Оно имеет несколько модификаций. В наиболее распространённом варианте изделие состоит из трёх деталей: пластины тоководной, на которой смонтированы шаберы-контакты (по одному для контакта с шейками стыкуемых рельсов), и пружины. Изделие устанавливается под рельсовую накладку с базированием на рельсовые болты. Таких изделий на сети железных дорог России эксплуатируется более миллиона штук. Имеются и

другие варианты исполнения изделий, например торцевой соединитель, который устанавливается в зазор между рельсами, или ремонтный соединитель, который устанавливается у торца рельсовой накладке в пазуху между ней и шейкой рельса. В любом из вариантов исполнения соединителя он выполняет аналогичную функцию и для выбора его параметров необходимо их электротехническое обоснование.

В данной работе рассмотрены элементы управления (организации) процессом шабрения для решения задачи поддержания качества электрического контакта между двумя элементами электрической цепи. Эти элементы выполнены из различных материалов, работают в условиях образования ржавчины от агрессивного воздействия окружающей среды и образования продуктов трения. Ржавчина и продукты трения повышают электрическое сопротивление в таком контакте, это неблагоприятно влияет на работу электрической цепи. Примеры электротехнических расчётов соединителя рельсового шаберно-пружинного приведены в работе как средство управления качеством электрического контакта посредством организации необходимых параметров шабрения.

1. СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Соединители рельсовые шаберные устанавливаются в рельсовый стык и осуществляют передачу сигнального и тягового электрического тока между стыкуемыми рельсами. По существу они дублируют передачу электрического тока в рельсовом стыке рельсовыми накладками, которые со временем эксплуатации из-за агрессивного воздействия окружающей среды и трибологических явлений на контактных поверхностях рельсовых накладок и рельсов образуют продукты, обладающие электроизоляционными свойствами и в силу этого приводящие к повышению электрического сопротивления рельсовой цепи и её отказу.

В этом случае передача электрического тока осуществляется соединителем рельсовым шаберным. Его работа организована на основе осуществления процесса шабрения, т.е. микрорезания. В процессе шабрения с контактирующих поверхностей электрического контакта удаляются ржавчина и продукты трения, в результате формируется ювенильная контактная поверхность, электрическое сопротивление контакта минимально, надёжность работы электрической цепи высокая. Шабрение осуществляют сами электрические контакты соединителя. Для этого шабер-контакт выполнен из материала более твёрдого, чем материал рельса, форма и размеры шабера (режущего лезвия или вершины контакта) должны обеспечивать необходимую производительность шабрения и не должны допускать образование выработок (дефектов) на рельсах. Для шабрения необходимо перемещение шабера по рельсу и его прижим к рельсу с необходимым усилием.

Прижим осуществляется механически за счёт применения пружины. Перемещение осуществляется технологически, т.е. формообразующее движение шабрения не создаётся специальным приводом, оно используется как вынужденные вибрации (взаимные перемещения) рельсового стыка при прохождении колёс подвижного состава через рельсовый стык. В случае малоинтенсивного движения подвижного состава шабрение осуществляется за счёт температурных деформаций рельсов в стыке.

Шабрение является одним из процессов чистовой лезвийной механической обработки. Процесс основан на срезании локальных участков обрабатываемых заготовок деталей, обычно это срезание микровыступов и вершин выступов неровности поверхности. Формообразующие движения и режущий инструмент при этом могут быть различными. Например, шевингование зубчатых колёс осуществляется зубчатым шевером, режущие кромки у которого выполнены в виде острых режущих кромок и выполняют функцию шабрения эвольвентной поверхности зубьев обрабатываемого зубчатого колеса при взаимном вращении колеса и шевера. При подгонке плоских или профильных поверхностей направляющих металлорежущих станков шабрение осуществляют возвратно-поступательным перемещением плоского или профильного шабера, выполненного в виде пластины. В некоторой мере шабрением можно считать и абразивную обработку, где каждое режущее зерно выполняет работу по удалению некоторого объёма материала путём шабрения.

1.1. Назначение соединителя рельсового шаберного

Для поддержания постоянной величины электрического сопротивления в контакте ржавчину и продукты трения необходимо удалять из зоны контакта.

Для удаления можно использовать процесс шабрения. Чем более интенсивно образуется ржавчина или продукты трения, тем интенсивнее нужно их удалять. Если удаление будет происходить более интенсивно, чем образуется ржавчина и продукты трения, тем быстрее будут изнашиваться контактирующие элементы и тем меньше будет срок их эксплуатации. В этом случае вопрос управления процессом шабрения сводится к определению таких условий, когда процесс шабрения обеспечивает удаление именно такого количества ржавчины и продуктов трения, когда образуются ювенильные поверхности на контактирующих элементах.

По существу такая задача может быть несложной в решении. Но особенность её решения состоит в том, что либо поверхности нужно шабрить, а затем обеспечивать их контакт, либо шабрить в процессе контактирования. По причине необходимости постоянной работы электрической цепи (без её отключения на время шабрения) предпочтение отдано второ-

му варианту, т.е. шабрению в процессе контактирования электрических элементов. Однако для обеспечения шабрения контакту нужно режущее лезвие. В этом случае концентрация электрического тока на режущем лезвии электрического контакта может порождать различные электротехнические явления. Переход от одного режущего лезвия на их множество, например на режущие грани, кромки, зёрна и т.д., тоже не однозначен и требует дополнительного изучения.

В данной работе эта задача рассмотрена применительно к рельсовым электрическим цепям, используемым на ряде участков сети железных дорог ОАО «РЖД».

Соединитель рельсовый шаберный (шаберно-пружинный – для постоянной эксплуатации, ремонтный – для временной эксплуатации и т.д.) предназначен для повышения надёжности работы электрической рельсовой цепи и устанавливается в месте, прилегающем к рельсовому стыку (есть соединители, которые устанавливаются под рельсовую накладку, есть соединители, устанавливаемые непосредственно в рельсовый стык и т.д.).

Соединитель рельсовый шаберный (соединитель шаберно-пружинный типа СРШП, далее – соединитель СРШП) является элементом электрической рельсовой цепи, предназначен для установки в рельсовый стык с двуголовыми накладками с термоупрочнёнными рельсами категорий В, Т1, Т2 типа Р65 и Р75 ГОСТ Р 51685-2000 участков пути с автономной тягой или на электротяге с постоянным или переменным током.

Вид климатического исполнения УХЛ, категория размещения 1 классифицируются по ГОСТ 15150-69.

1.2. Устройство и работа соединителя

В опытной и промышленной эксплуатации было несколько вариантов исполнения соединителя, например обозначения по чертежу СРШП, ПТ 50.506.000.00; СРШП, ПТ 50.506.000.00-02. На рис. 1 показано несколько вариантов его исполнения.

В нижней части фотографии показана исходная конструкция заимствованного в качестве прототипа соединителя чужой разработки, в ней шаберов нет. Остальные конструкции разработаны, изготовлены, испытаны и внедрены сотрудниками ЗАО «Дальневосточная технология» (г. Комсомольск-на-Амуре). Один из авторов данной работы являлся главным конструктором и руководителем проекта, выполненного указанной организацией для ОАО «РЖД».



Рис. 1. Варианты конструкций соединителя рельсового шаберно-пружинного

На период эксплуатационных испытаний соединитель СРШП устанавливается без дублирующих (приварных или штепсельных) соединителей в пределах станций:

а) на главном пути и на одном из боковых путей на участках с различными видами тяги:

- автономная тяга;
- электротяга на переменном токе;
- электротяга на постоянном токе.

б) при различной грузонапряженности участков:

- менее 25 млн т км брутто/км в год;
- более 25 млн т км брутто/км в год.

в) при различной длине рельсов:

- 25 м;
- со сварными рельсами длиной 200 м и более.

После приемки опытного образца и ввода в постоянную эксплуатацию область применения соединителя СРШП определяется Техническими указаниями по применению пружинных рельсовых соединителей ЦПТ-77/2, а именно:

1. в качестве основных (без дублирующих) соединитель СРШП может применяться:

- а) на участках с автономной тягой поездов;
- б) при электротяге на переменном токе:

- на участках бесстыкового пути со сварными рельсовыми путями длиной 200 м и более;

- на малодеятельных участках звеньевом пути (не более 8 пар поездов в сутки по графику), кроме участков с подъемами более 6 %, а также станционных путей и стрелочно-путевых участков;

2. на участках дорог с электротягой на переменном токе, а также на всех участках с электротягой на постоянном токе соединитель СРШП может применяться только в качестве дублирующего.

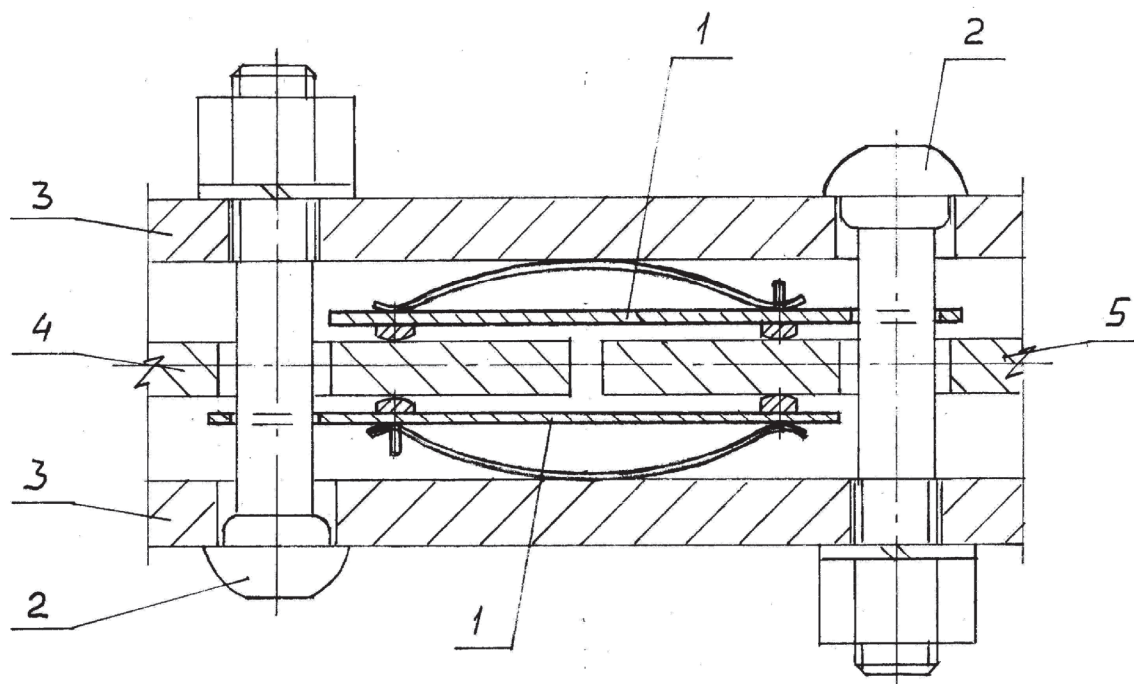
При этом основными стыковыми соединителями должны быть приварные согласно действующим нормам и требованиям.

При проведении капитальных ремонтов пути на участках дорог разрешается устанавливать СРШП на период не более трех месяцев независимо от размеров движения поездов и подъемов.

Соединитель СРШП запрещается применять на съездах и ответвлениях рельсовых цепей, которые не оборудованы путевыми реле, а также в тяговой нити однопутных рельсовых цепей.

Схема монтажа СРШП в рельсовый путь представлена на рис. 2.

а)



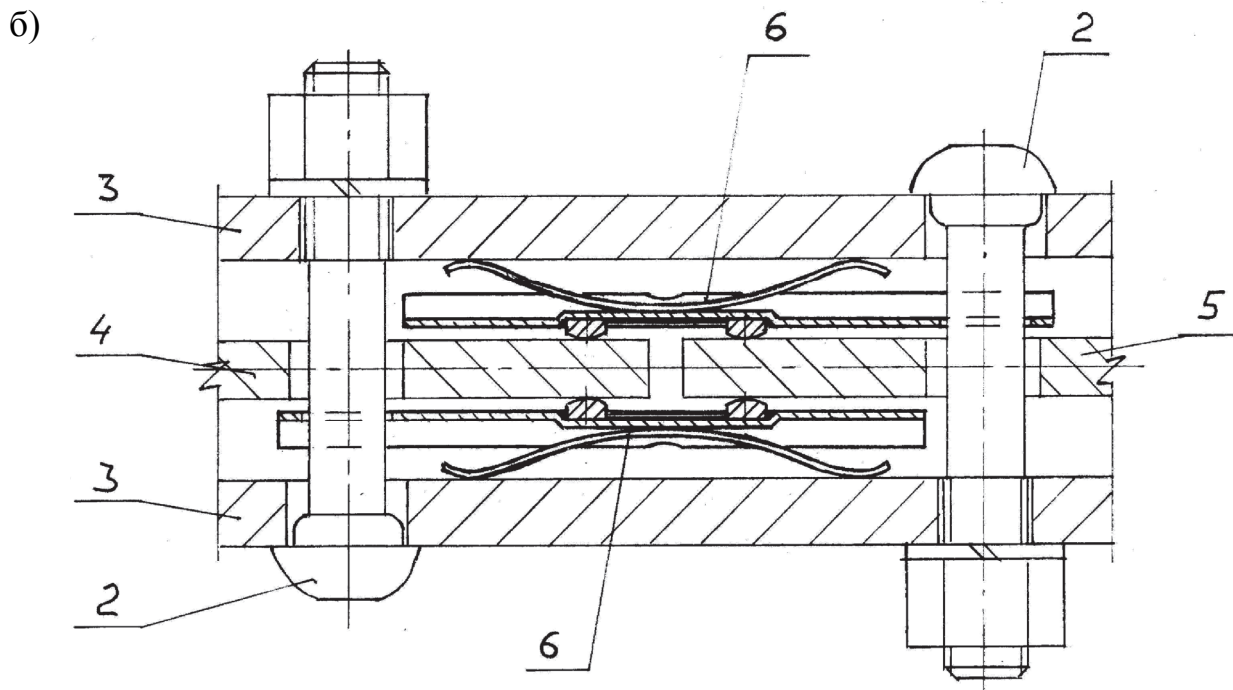
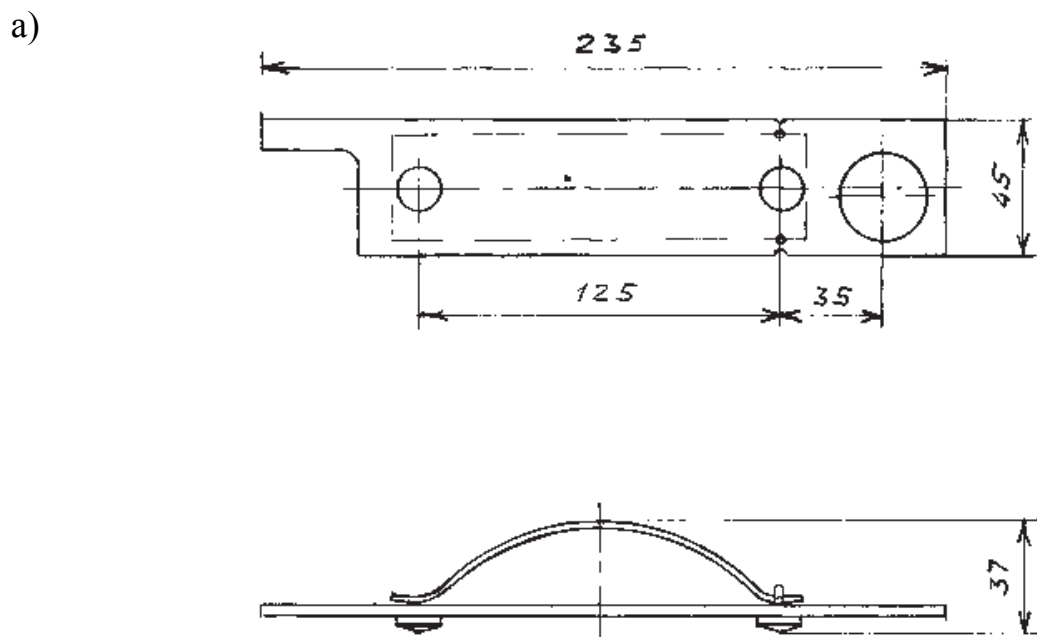


Рис. 2. Монтажная схема соединителя рельсового шаберно-пружинного типа СРШП: а – вариант исполнения с нормальным расположением пружины на толстой тоководной пластине; б – вариант исполнения с обратным расположением пружины на тонкой штампованной тоководной пластине; 1 – тоководная пластина; 2 – болт; 3 – накладка рельсовая; 4 и 5 – шейки стыкуемых рельсов; 6 – пружина

Основные варианты исполнения СРШП показаны на рис. 3 и 4.



б)

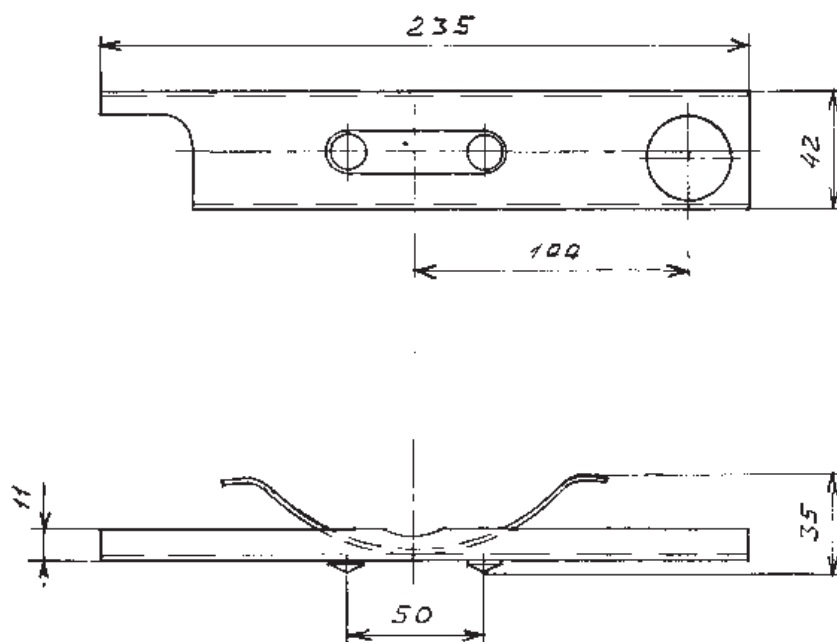


Рис. 3. Основные варианты конструкций СРШП: а – соединитель СРШП ПТ 50.506.000.00; б – соединитель СРШП ПТ 50.506.000.00-02

Монтаж устройства и его работа осуществляются следующим образом. СРШП состоит из тоководной пластины (коробчатой или плоской формы в зависимости от варианта исполнения) и пружины. Тоководная пластина содержит электроконтактные вставки (выполняющие функцию шабрения поверхности шейки рельса) и поверхности базирования (отверстия) на рельсовых болтах. Электроконтактные вставки могут быть соединены между собой медесодержащим проводником для снижения величины электрического сопротивления. СРШП устанавливают по одному под каждую накладку рельсового стыка.

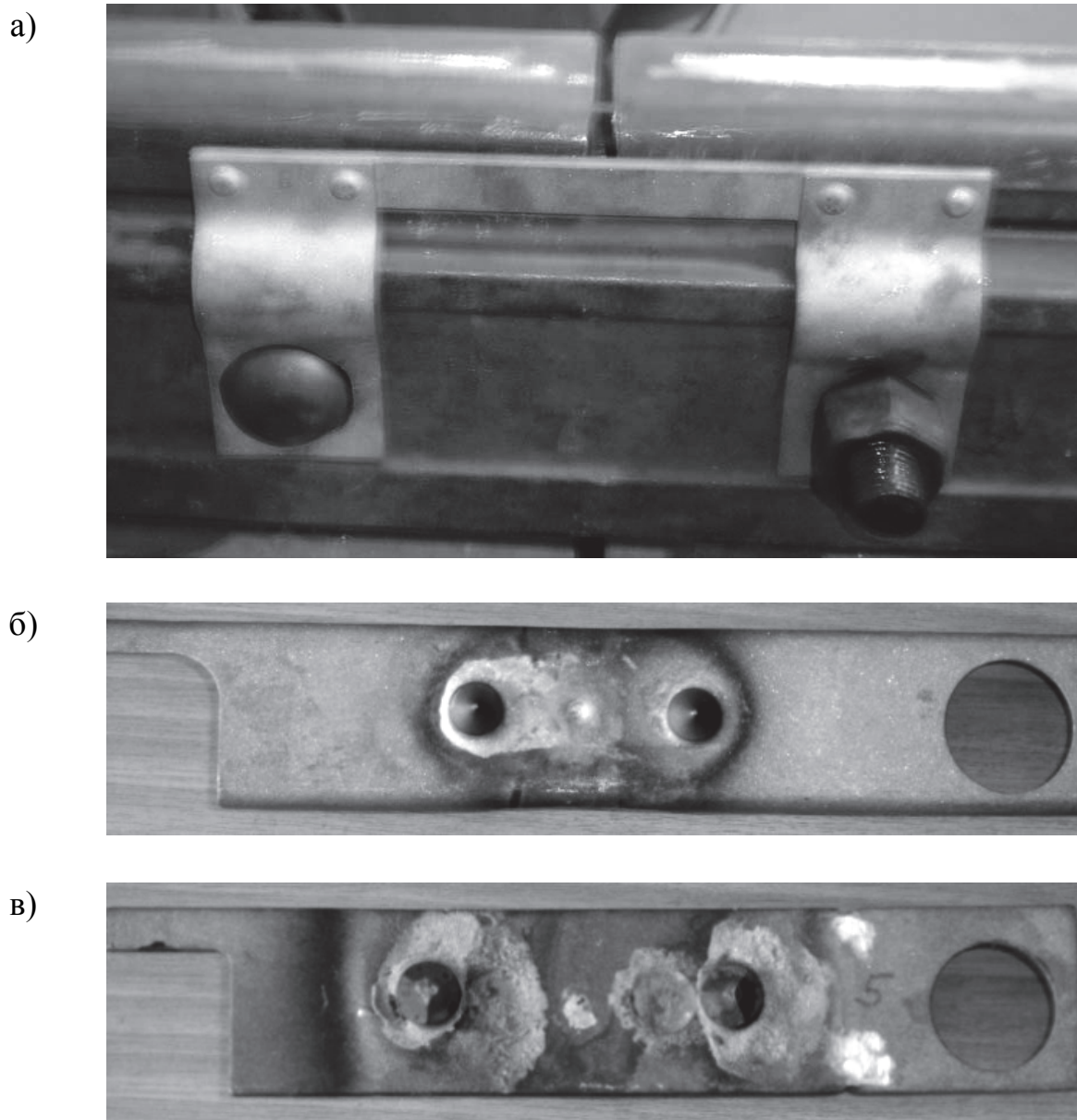


Рис. 4. Варианты исполнения СРШП: а – наружный соединитель; б – закладной под рельсовую накладку соединитель с конусным шабером-электроконтактом; в – то же с трёхгранным шабером-электроконтактом

Монтаж СРШП при разобранном рельсовом стыке выполняется в следующей последовательности:

1. Защищают от загрязнений и ржавчины (до металлического блеска):
 - а) контактные поверхности рельсов и рельсовых накладок;
 - б) поверхности шейки рельсов в местах контактирования с электроконтактными элементами СРШП размером приблизительно 3×3 см каждая.
2. В отверстие рельсовой накладки вводят стыковой болт, на него отверстием надевают СРШП со стороны пружины, накладку с СРШП прижимают к рельсу, болт вводят в отверстие рельса, затем первый и второй

болты вводят в отверстия ответных рельсовых накладок, на болты навинчивают гайки (с шайбами или иными разрешенными устройствами). Затем в рельсовый стык устанавливают остальные болты и осуществляют сборку стыка.

Первоначальное усилие затяжки стыковых болтов при монтаже стыка с СРШП должно быть не менее 50 кН (крутящий момент на гайке – 350 Н·м устанавливается с помощью динамометрического ключа). После установки СРШП (после пропуска нескольких поездов) необходимо произвести проверку усилия натяжения стыковых болтов и, если произошло ослабление, болты необходимо подтянуть до нормативного усилия, указанного выше.

Эксплуатация СРШП (после их монтажа в стыке) сводится к эксплуатации электрической рельсовой цепи.

Особенности эксплуатации:

1. Если участок пути только что построен, то после монтажа СРШП необходимо измерить электрическое сопротивление каждого стыка, записать измеренные величины в специальный журнал. Если в каком-то стыке величина электрического сопротивления превышает 100 Ом, то необходимо повторно зачистить от ржавчины контактные площадки накладок и рельсов, а также участки шейки рельсов, контактирующие со вставками СРШП.

2. Если участок пути находился в эксплуатации, то перед разборкой рельсовых стыков необходимо измерить их электрическое сопротивление. Если сопротивление превышает 100 Ом, то перед установкой СРШП необходимо зачистить контактные площадки рельсов и накладок от продуктов трения и ржавчины.

После монтажа соединителей измеряют электрическое сопротивление стыков, измеренные величины записывают в журнал. Если в каком-то стыке величина электрического сопротивления превышает 100 Ом, то контактные площадки рельсов и накладок зачищают повторно и вновь измеряют сопротивление.

1.3. Физические и технические эффекты, положенные в основу процесса шабрения

Формообразующим движением шабрения при такой конструкции рельсового стыка является возвратно-поступательное перемещение (вибрации) концов стыкуемых рельсов при прохождении колёс подвижного состава через зазор рельсового стыка. При отсутствии движения подвижного состава для шабрения достаточно температурных деформаций рельсов из-за разницы температур при солнце и без него, днём и ночью.

В результате шабрения на боковых поверхностях шеек рельсов обра-

зуется некоторое пятно с ювенильной поверхностью. На техническом языке такое пятно называют выработкой. Если глубина такой выработки заметно превышает толщину удаляемой ржавчины или продуктов трения, то выработка может являться дефектом, что недопустимо или нежелательно. Примеры выработок в шейке рельса приведены на рис. 5.

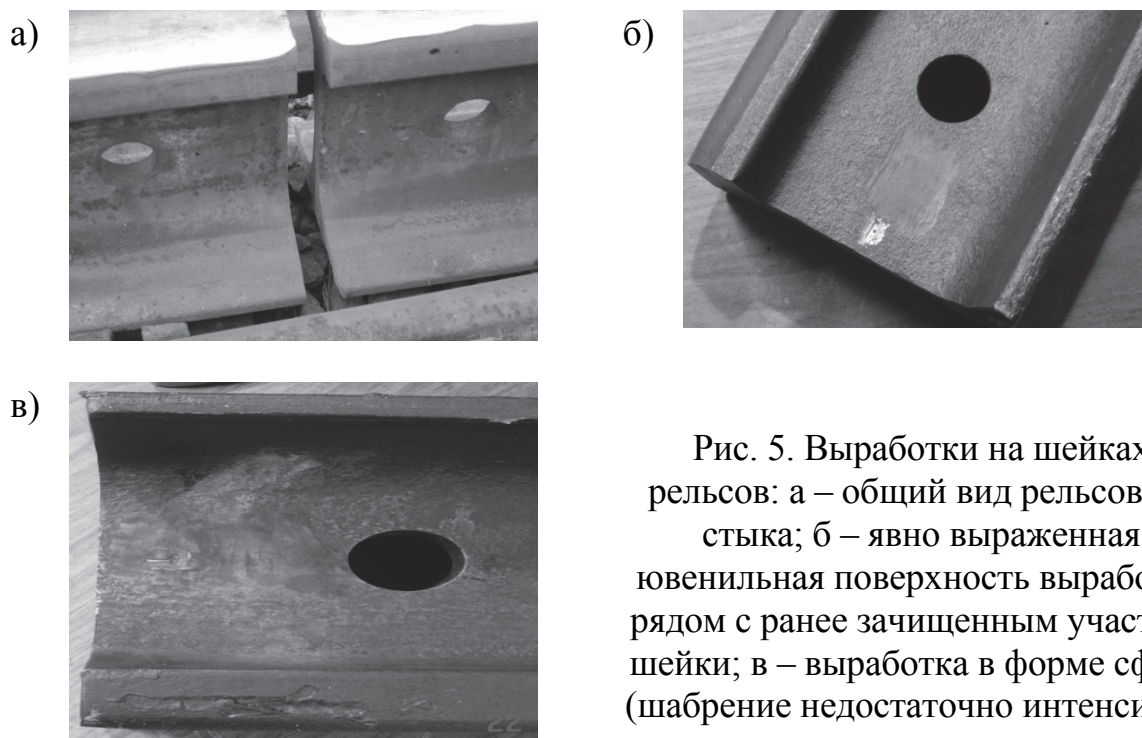


Рис. 5. Выработки на шейках рельсов: а – общий вид рельсового стыка; б – явно выраженная ювенильная поверхность выработки рядом с ранее зачищенным участком шейки; в – выработка в форме сферы (шабрение недостаточно интенсивно)

Экспериментальные работы показали, что материал, геометрия и конструкция шаберов существенно влияют на интенсивность образования выработки. Во многом это также зависит от грузонапряжённости рельсового пути. Чем более интенсивное движение подвижного состава через рельсовый стык, чем выше тоннаж перевозимого груза, тем интенсивнее шабрение. К примеру, на станции, имеющей 15 рельсовых путей, из которых 14 и 15 пути – резервные, а 13 путь – для маневрового электровоза, за равное время эксплуатации одинаковых СРШП образуются выработки разной протяжённости, формы и глубины.

Для моделирования работы СРШП и интенсивности образования выработок в лабораторных условиях рельсовый стык размещали на столе станка (рис. 6), стыку придавали колебания с амплитудой и частотой, имитирующими прохождение подвижного состава той или иной длины (количества вагонов), той или иной массы (перевозимого груза), с той или иной скоростью движения, с тем или иным перерывом между составами, с действием тумана, дождя и т.д. Моделирование показало, что под каждые условия эксплуатации рационально иметь свою конструкцию и материал шаберов. При этом следует отметить, что для подавляющего большинства условий эксплуатации оказалось достаточным иметь шаберы таблеточной

формы с радиусом, близким к радиусу кривизны шейки рельса и выполненные из твёрдосплавных материалов, в том числе с добавками меди.

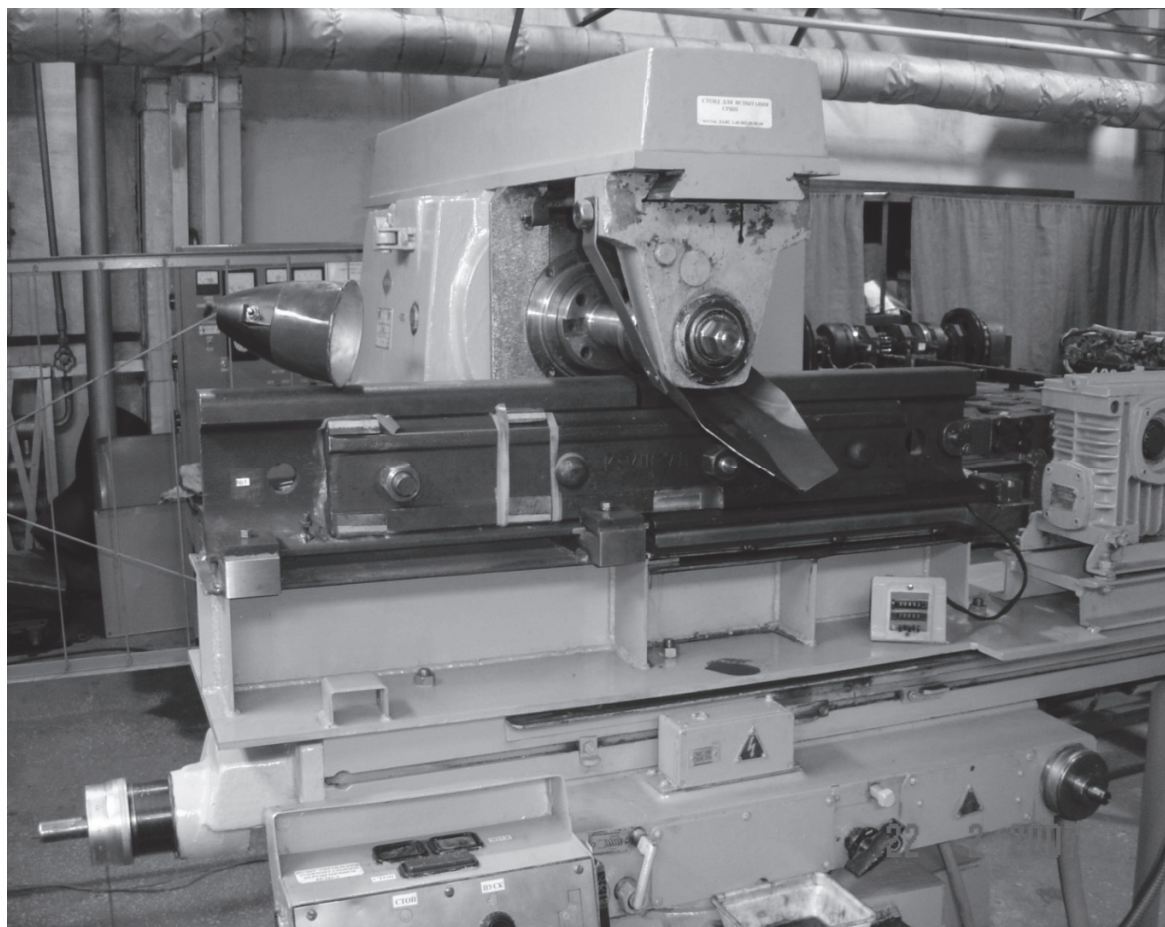


Рис. 6. Общий вид станда для моделирования работы СРШП в рельсовом стыке пути при разных условиях эксплуатации

Можно отметить, что надёжность работы электрических рельсовых цепей при использовании СРШП возросла значительно. Авторы не считают возможным в данной работе указать насколько конкретно возросла надёжность, но считают возможным указать, что число отказов рельсовой цепи составило лишь единицы (табл. 1 и 2), изломов рельсов по вине выработки от действия шаберов не обнаружено, необходимость в установке дублирующих приварных соединителей и обводных штепсельных соединителей отпала.

1.4. Результаты эксплуатации соединителя

В табл. 1 и 2 указаны результаты эксплуатации СРШП в соответствии с данными сведений отдела эксплуатации ЦП ОАО «РЖД» на 05.12.2007 (информация взята из отчетов дорог, запрошенных телеграммой № ЦПП-14/27 от 28.11.2007).

Табл. 1 и 2 следует рассматривать совместно друг с другом.

Сведения в табл. 1 и 2 не разделены по видам перегонов, станций, тяги и роду тягового тока. Тексты сносок, расположенных в таблице, являются комментариями ЗАО «ДВ Технология».

Коэффициент надежности в табл. 1 определен как отношение

$$K = (C - O) / C,$$

где C – количество эксплуатируемых СРШП; O – число отказов.

Из таблиц можно сделать следующие выводы:

1. Надежность работы СРШП по числу и вероятности отказов превышает общепринятую на сети дорог надежность элементов рельсовых цепей.

2. Изъятие рельсов на Свердловской железной дороге произведено по причине превышения того норматива глубины выработки в шейке рельса от воздействия островершинных конических шаберов образцов СРШП, который задан в Технических условиях на СРШП (0,8 мм). Существует необходимость пересмотра допустимой глубины выработки 0,8 мм в связи с тем, что эта глубина была задана только на период (9 месяцев) эксплуатации опытных образцов.

3. Число отказов рельсовых цепей за весь период эксплуатации СРШП всех исполнений в 7,4 раза меньше числа рельсов, изъятых только за 10 месяцев 2007 г. из-за дефектов от применения приварных соединителей.

4. Из общей картины применения СРШП на сети железных дорог выделяются результаты эксплуатации СРШП на следующих железных дорогах:

а) Северная и Московская железные дороги – полное отсутствие СРШП;

б) Куйбышевская железная дорога – значительное число отказов;

в) Октябрьская, Северо-Кавказская, Приволжская, Западно-Сибирская, Дальневосточная железные дороги – низкие объемы эксплуатации СРШП.

Таблица 1

Общие сведения об эксплуатации СРШП по дорогам и оценка надежности изделия

Наименования железных дорог, входящих в состав ОАО «РЖД» ¹⁾	Сведения о СРШП, введенных в эксплуатацию до 2007 г. ²⁾				Сведения о СРШП, введенных в эксплуатацию в 2007 г. ³⁾				Общее количество СРШП ⁴⁾				
	Введено, шт.	Кол-во отказов, шт.	Кол-во поврежденных, раз	Кол-во рельсов, изъятых по вине СРШП, шт.	Введено, шт.	Кол-во отказов, шт.	Кол-во поврежденных, раз	Кол-во рельсов, изъятых по вине СРШП, шт.	Введено, шт.	Кол-во отказов, раз	Кол-во рельсов, изъятых по вине СРШП, шт.	Кол-во отказов, раз	Кол-во рельсов, изъятых по вине СРШП, шт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
ОКТ	1900	1	0	0	2000	0	0	0	3900	1	0		
КЛНГ	0	0	0	0	5000	0	0	0	5000	0	0		
МОСК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
ГОРЬК	1300	0	0	0	71 500	0	0	0	72 800	0	0		
СЕВ	<i>СРШП не применялись</i>												
С-КАВ	4789 ⁵⁾	0	0	0	6000	1	0	0	10 789	1	0		
Ю-ВОСТ	4000 ⁵⁾	0	0	0	10 000	0	0	0	14 000	0	0		
ПРИВ	500	0	0	0	7456	0	0	0	7956	0	0		
КБШ	464	32 ⁶⁾	0	0	11 015	44 ⁷⁾	0	0	11 479	76	0		
СВЕРД	5302	1	0	3 ⁸⁾	14 090	0	0	0	19 392	1	3		
Ю-УР	16 300	0	0	0	25 000	0	3	0	41 300	0	0		
З-СИБ	3960 ⁹⁾	0	0	0	0	0	0	0	3960	0	0		
КРАС	43 500	4 ¹⁰⁾	0	0	61 500	2 ¹⁰⁾	0	0	105 000	6	0		
В-СИБ	58 670	3	0	0	40 000	0	0	0	98 670	3	0		
ЗАБ	307 600	17 ¹¹⁾	0	0	24 258	8	0	0	331 858	25	0		
ДВОСТ	500	0	0	0	10 080	6	0	0	10 580	6	0		
ИТОГО	438 783	58	0	3	297 899	61	3	0	736 682	119	3		

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Коэффициент надежности	-	0,9998	1	0,9999	-	0,9997	0,999	1	-	0,9998	0,9999
Примечания: 1) В-СИБ – Восточно-Сибирская ж. д.; ГОРЬК – Горьковская ж. д.; ДВОСТ – Дальневосточная ж. д.; ЗАБ – Забайкальская ж. д.; 3-СИБ – Западно-Сибирская ж. д.; КЛНГ – Калининградская ж. д.; КРАС – Красноярская ж. д.; КБШ – Куйбышевская ж. д.; МОСК – Московская ж. д.; ОКТ – Октябрьская ж. д.; ПРИВ – Приволжская ж. д.; СВЕРД – Свердловская ж. д.; СЕВ – Северная ж. д.; С-КАВ – Северо-Кавказская ж. д.; Ю-ВОСТ – Юго-Восточная ж. д.; Ю-УР – Южно-Уральская ж. д. 2) Эксплуатировались опытные образцы и разные исполнения СРШП. 3) Преимущественно эксплуатировались СРШП исполнения 03. 4) В том числе с опытными образцами и разным исполнением СРШП. 5) Опытные образцы сняты с эксплуатации. 6) За отказы приняты случаи превышения нормального значения электросопротивления стыка и поломки пружины на трёх опытных образцах СРШП. 7) За отказы приняты случаи превышения нормального значения электросопротивления стыка. 8) Использовались опытные образцы с острровершинными коническими шаберами. 9) СРШП исполнения 01 и 02. 10) Из-за ослабления рельсовых болтов. 11) За отказы приняты случаи превышения нормального значения электросопротивления стыка на станции на пяти опытных образцах с малой интенсивностью движения.											

Таблица 2

Оценка надежности работы электрических рельсовых цепей при эксплуатации СРШП

Наименования железных дорог, входящих в состав ОАО «РЖД» ¹⁾	Всего по всем типам эксплуатируемых СРШП ²⁾			Всего по дороге за 2007 г. ³⁾		
	Введено, шт.	Кол-во отказов, повреждений и т.д., шт. / %	Изъято рельсов по вине СРШП, шт. / %	Введено, шт.	Кол-во отказов, повреждений и т.д., шт. / %	Изъято рельсов по вине СРШП, шт. / %
1	2	3	4	5	6	7
ОКТ	3900	1 / 0,03	0 / 0	2000	0 / 0	0 / 0
КЛНГ	5000	0 / 0	0 / 0	5000	0 / 0	0 / 0
МОСК	0	0	0	0	0	0
ГОРЬК	72 800	0 / 0	0 / 0	71 500	0 / 0	0 / 0
СЕВ	<i>СРШП не применяются</i>					
С-КАВ	10 787	1 / 0,01	0 / 0	6000	1 / 0,02	0 / 0
Ю-ВОСТ	14 000	0 / 0	0 / 0	10 000	0 / 0	0 / 0
ПРИВ	7956	0 / 0	0 / 0	7456	0 / 0	0 / 0
КБШ	11 479	76 / 0,6 ⁴⁾	0 / 0	11 015	44 / 0,4 ⁴⁾	0 / 0
СВЕРД	19 392	1 / 0,005	3 / 0,03 ⁵⁾	14 090	0 / 0	0 / 0
Ю-УР	41 300	0 / 0	0 / 0	25 000	0 / 0	0 / 0
З-СИБ	3960	0 / 0	0 / 0	0	-	-
КРАС	105 000	6 / 0,006	0 / 0	61 500	2 / 0,003	0 / 0
В-СИБ	98 670	3 / 0,003	0 / 0	40 000	0 / 0	0 / 0
ЗАБ	331 858	25 / 0,008	0 / 0	24 258	8 / 0,03	0 / 0
ДВОСТ	10 580	6 / 0,06	0 / 0	10 080	6 / 0,06	0 / 0
ИТОГО	736 683	119 / 0,01	3 / 0,03	292 899	61 / 0,02	0 / 0
Число отказов на 1000 шт. СРШП	0,13			0,2		

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Вероятность отказа, %	0,01					
Примечания:	0,01					
<p>1) В-СИБ – Восточно-Сибирская ж. д.; ГОРЬК – Горьковская ж. д.; ДВОСТ – Дальневосточная ж. д.; ЗАБ – Забайкальская ж. д.; 3-СИБ – Западно-Сибирская ж. д.; КЛНГ – Калининградская ж. д.; КРАС – Красноярская ж. д.; КБШ – Куйбышевская ж. д.; МОСК – Московская ж. д.; ОКТ – Октябрьская ж. д.; ПРИВ – Приволжская ж. д.; СВЕРД – Свердловская ж. д.; СЕВ – Северная ж. д.; С-КАВ – Северо-Кавказская ж. д.; Ю-ВОСТ – Юго-Восточная ж. д.; Ю-УР – Южно-Уральская ж. д.</p> <p>2) Эксплуатировались опытные образцы и разные исполнения СРШП.</p> <p>3) Преимущественно эксплуатировались СРШП исполнения 03.</p> <p>4) За отказы принято превышение величины электросопротивления рельсового стыка.</p> <p>5) Выработка более 0,8 мм от конического шабера опытного образца СРШП.</p>						

Контрольные вопросы

1. За счёт чего может быть достигнуто повышение надёжности работы электрических рельсовых цепей при эксплуатации участков железных дорог?
2. Какие проблемы призван решать соединитель рельсовый шаберный?
3. Каково назначение соединителей рельсовых шаберных?
4. Опишите работу соединителей рельсовых шаберных.
5. В чём заключается процесс шаберения?
6. Опишите устройство соединителя СРШП.
7. Как осуществляется монтаж СРШП?
8. Каковы особенности эксплуатации СРШП?
9. Укажите причины образования выработок на шейках рельсов при применении СРШП.
10. Какие параметры СРШП влияют на интенсивность образования выработки?
11. Каким образом происходит моделирование работы СРШП в лабораторных условиях?
12. Какая конструкция и материал шаберов удовлетворяет большинству условий эксплуатации СРШП?
13. Как может быть рассчитан коэффициент надёжности СРШП?
14. Опишите результаты эксплуатации СРШП.

2. ОТДЕЛЬНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ «СОЕДИНИТЕЛЬ РЕЛЬСОВЫЙ ШАБЕРНО-ПРУЖИННЫЙ»

Методология проектирования изделий основана на следующем:

- а) изделие должно выполнять конкретную функцию в конкретной технической ситуации, может дополнительно выполнять смежную функцию;
- б) на разработку изделия нормативными документами, например ЕСКД или ЕСТПП, накладывается требование разработки системы документов установленной формы, позволяющих:
 - идентифицировать изделие;
 - изготовить изделие;
 - ввести изделие в эксплуатацию с соблюдением мер безопасности;
 - получить необходимый технический (или социальный) результат от применения изделия;
 - распространить изготовление изделия на разные предприятия;
 - проконтролировать качество изделия на любом этапе его изготовления, хранения и эксплуатации;
 - модернизировать изделие.

2.1. Этапы разработки и постановки продукции на производство

Создание и производство изделия включает в себя несколько этапов:

1. Разработку, согласование и утверждение технического задания (ТЗ) на продукцию, общие требования к содержанию ТЗ.
2. Выполнение технического предложения, эскизного и технического проектов.
3. Разработку рабочей конструкторской документации (КД).
4. Изготовление опытных образцов (опытной партии) продукции, проведения испытаний, в том числе:
 - предъявительских;
 - предварительных;
 - на безопасность;
 - эксплуатационных;
 - приемочных.

На данном этапе происходит доработка рабочей КД по результатам испытаний опытных образцов (опытной партии) продукции, согласования и утверждения КД.

5. Постановку продукции на производство, в том числе изготовление установочной серии продукции и проведение квалификационных испытаний.

6. Доработку КД по результатам проведения квалификационных испытаний.

7. Проведение испытаний и контроля продукции на этапе установившегося серийного (массового) производства, в том числе: операционного контроля, технологического прогона, приёмо-сдаточных испытаний, периодических испытаний, типовых испытаний, испытаний на надежность.

8. Проведение авторского надзора, инспекционного контроля и других видов контроля и надзора за производством продукции.

9. Проведение работ, связанных с сертификацией продукции.

10. Метрологическое обеспечение создания, постановки на производство и установившегося производства продукции.

2.2. Исходные требования к создаваемой продукции

ТЗ разрабатывается на основе исходных требований к создаваемой продукции, установленных при заключении договора на её создание, а также на основе результатов выполнения научно-исследовательских и экспериментальных работ, научного прогнозирования, анализа передовых достижений отечественной и зарубежной техники, патентных исследований, а для продукции, предназначенной для поставки на экспорт, – на основе исследования требований внешнего рынка.

После проведения необходимых работ по уточнению исходных требований разработчик составляет ТЗ на продукцию.

ТЗ должно состоять из следующих разделов:

- наименование и область применения;
- основания для разработки (модернизации);
- цель и назначение разработки (модернизации);
- источники разработки (модернизации);
- технические требования;
- экономические показатели;
- стадии (этапы) разработки (модернизации);
- порядок контроля и приемки разработки (модернизации);
- приложения.

В зависимости от вида, назначения и условий эксплуатации продукции, а также от вида её производства, допускается уточнять наименование и содержание перечисленных разделов, объединять отдельные из них, вводить новые разделы.

В разделе «**Наименование и область применения**» указывают наименование и условное обозначение создаваемой продукции, краткую характеристику области ее применения, краткую характеристику объекта, в котором (совместно с которым) она будет применяться, и вид её производства.

В разделе «**Основания для разработки (модернизации)**» приводят полное наименование документа, на основании которого создается продукция, организацию, утвердившую этот документ, и дату его утверждения (например, «Договор на создание (передачу) научно-технической продукции»), а также другие документы).

В разделе «**Цель и назначение разработки (модернизации)**» указывают эксплуатационное (функциональное) назначение продукции, разрабатывается она вновь или является модернизированной.

Если производится модернизация, в данном разделе должны быть указаны отличительные особенности создаваемой продукции от базовой, предлагаемые элементы новизны.

В разделе «**Источники разработки (модернизации)**» перечисляют НИР и другие работы, отечественные изобретения, а также другие материалы, на базе которых создается продукция.

В разделе «**Технические требования**» приводят номенклатуру всех показателей продукции (кроме экономических), их значения или качественные характеристики, а также, при необходимости, номенклатуру показателей основных составных частей собственной разработки, их значения или качественные характеристики.

Формулировки показателей и их качественных характеристик должны соответствовать действующим нормативным документам (НД) и должны быть однозначными. В том числе должны быть сформулированы:

- показатели безопасности;
- показатели, характеризующие электромагнитную совместимость и надежность, – согласно действующим НД.

Значения показателей должны быть установлены однозначно, с указанием их допускаемых отклонений или с ограничительными словами «не более», «не менее», «в пределах от ... до».

Если значение показателя приведено без допускаемых отклонений или ограничительных слов, то этот показатель должен быть обозначен как справочный.

Применяемые единицы физических величин должны соответствовать ГОСТ 8.417-2002 и должны быть разрешены к применению в предполагаемых странах экспорта. Допускаемые отклонения должны быть приведены в тех же единицах физических величин, что и значения показателей, к которым они относятся.

Если ТЗ содержит показатели, подлежащие уточнению в процессе создания продукции, то данный раздел должен содержать их перечень в редакции: «Показатели, приведенные в пунктах _____, подлежат уточнению и согласовываются на стадии (этапе) _____».

Все показатели продукции, установленные в ТЗ, должны быть проверены или подтверждены в процессе проведения установленных в ТЗ испытаний.

В соответствии с номенклатурой показателей, данный раздел рекомендуется разбить на подразделы, содержащие группы однородных показателей.

Обязательными являются следующие подразделы:

- требования к составу и конструктивному устройству;
- требования к показателям назначения, технического уровня и качества;
- требования к надежности;
- требования к условиям эксплуатации; требования к маркировке и упаковке;
- требования к транспортированию и хранению.

В зависимости от специфики создаваемой продукции в данный раздел могут быть включены также следующие подразделы:

- требования к безопасности;
- требования к электромагнитной совместимости;
- требования к технологичности и (или) метрологическому обеспечению;
- требования к техническому обслуживанию;
- требования к ремонтпригодности;
- эстетические и эргономические требования;
- требования к влиянию на окружающую среду;
- требования к патентной чистоте.

В подразделе «**Требования к составу и конструктивному устройству**» приводят:

- перечень наименований и кодов основных составных частей (как собственной разработки, так и покупных) с указанием их назначения и количества, а также следующие требования к конструкции:

- требования к габаритным, установочным, присоединительным размерам;

- требования к массе;

- требования к материалам, комплектующим изделиям и т.п., намечаемым для применения при изготовлении продукции;

- требования к материалам, комплектующим изделиям и т.п., намечаемым для применения при эксплуатации продукции, запасным инструментам и приспособлениям (ЗИП), а также требования к виду ЗИП (одиночный, групповой) и к его составу;

- требования к видам покрытий;

- требования к средствам защиты от воздействующих факторов, в том числе: требования к классу защиты от поражения электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0-75; требования к степени защиты по ГОСТ 14254-96;

- требования к средствам защиты, обеспечивающим помехозащищенность (помехоустойчивость); другие требования в зависимости от специфики продукции;

- требования к взаимозаменяемости основных составных частей одного экземпляра продукции;

- требования к сопрягаемости по внешнему виду и конструктивному устройству, а также к способам соединения между собой конструктивно законченных составных частей;

- требования к местам размещения органов управления (регулировки), индикаторов, встраиваемых средств измерений, к способам крепления встраиваемых средств измерений;

- требования к работе подвижных составных частей, в том числе к работе рукояток, переключателей и тому подобных органов управления (регулировки);

- требования к сопрягаемости по внешнему виду и конструктивному устройству с объектом, в котором (совместно с которым) создаваемая продукция будет применяться, а также к способам крепления и присоединения на объекте (к компенсирующим, центрирующим, фиксирующим устройствам, к присоединительным элементам и т.п.).

Для продукции, предназначенной для обеспечения безопасности, в данный подраздел включают требования: к виду и кратности резервирования; к конструктивным способам снижения интенсивности опасных отказов; к средствам индикации и фиксации отказов, тестового и функционального контроля.

В подразделе **«Требования к показателям назначения, технического уровня и качества»** приводят основные показатели, определяющие

работоспособное состояние продукции, и, при необходимости, ее основных составных частей (требования к электропитанию, потребляемой мощности, электрической прочности и электрическому сопротивлению изоляции, чувствительности и т.п.), а также основные показатели, характеризующие воздействие создаваемой продукции на сопрягаемую (требования к выходным уровням и т.п.).

В подразделе «**Требования к надежности**» приводят требования к безотказности, ремонтпригодности и долговечности продукции и, при необходимости, её основных составных частей.

Подраздел «**Требования к безопасности**» включают в ТЗ на продукцию, обеспечивающую безопасность.

В этом подразделе приводят:

- показатели безопасности, устанавливаемые согласно действующим стандартам, например для железнодорожной техники – ОСТ 32.181-2001;

- критерии защитных и опасных отказов, подтверждающие показатели безопасности. Критерии должны быть заданы в виде требований к средствам технического диагностирования и (или) в виде требований к допускаемым отклонениям значений показателей назначения, технического уровня и качества, характеризующим защитное (опасное) состояние продукции и, при необходимости, ее основных составных частей.

В подразделе «**Требования к электромагнитной совместимости**» приводят требования:

- к нормальным (предельным) значениям атмосферных или коммутационных перенапряжений, радиопомех, электромагнитных излучений и других аналогичных воздействий на создаваемую продукцию в условиях ее эксплуатации, при которых обеспечивается ее работоспособное (защитное) состояние;

- к допускаемым уровням коммутационных перенапряжений, радиопомех, электромагнитных излучений и т.п., возникающих в результате функционирования создаваемой продукции.

В подразделе «**Требования к технологичности и (или) метрологическому обеспечению**» приводят требования:

- к технологичности при изготовлении, эксплуатации, транспортировании и (или) хранении продукции, например требование к обеспечению технологичности производства согласно действующим НД Единой системы технологической подготовки производства, требование к обеспечению монтажной пригодности (поставке в собранном виде, не требующей сборки и ревизии на монтаже максимально укрупненными транспортными блоками) и т.п. Если создаваемая продукция при ее изготовлении должна подвергаться технологическому прогону (приработке), то в число требований к технологичности должно быть включено требование к назначению технологического прогона;

- к метрологическому обеспечению жизненного цикла продукции. В число этих требований могут быть включены: перечень наименований продукции вида СИ (ИО), технологических приспособлений, принадлежностей и других единиц сервисного оборудования, разработка которых вызвана необходимостью обеспечения контролепригодности и (или) ремонтпригодности создаваемой продукции, с указанием их назначения и количества: класса точности применяемых средств измерений общего применения; перечень заимствованных единиц сервисного оборудования, включаемых в состав сервисного оборудования с указанием их основных документов и Поставщиков; требования к средствам испытаний; требования к методам и (или) условиям испытаний (измерений); требования к квалификации персонала, выполняющего испытания (измерения), техническое обслуживание и (или) ремонт создаваемой продукции.

Подраздел «**Требования к техническому обслуживанию**» включают в ТЗ на обслуживаемую продукцию. В этом подразделе приводят требования к видам, периодичности и ориентировочной трудоемкости технического обслуживания, а также, при необходимости, требования к методам и (или) условиям его отдельных операций.

Подраздел «**Требования к ремонтпригодности**» включают в ТЗ на ремонтируемую продукцию. В этом подразделе приводят требования к видам и ориентировочной трудоемкости ремонта, к методам и (или) условиям его отдельных операций.

В подразделе «**Эстетические и эргономические требования**» приводят требования: соответствия конструкции создаваемой продукции размерам тела человека; соответствия конструкции создаваемой продукции силовым, скоростным, зрительным, слуховым и (или) осязательным возможностям человека; соответствие создаваемой продукции возможностям восприятия и переработки человеком информации; соответствия закрепленным и вновь формируемым навыкам человека, с учетом легкости и быстроты их формирования; к информационной выразительности; к рациональной форме; к целостности композиции; другие аналогичные требования.

В подразделе «**Требования к влиянию на окружающую среду**» приводят требования к исключению опасных и вредных влияний, возникающих при работе создаваемой продукции, в соответствии с действующими НД Системы стандартов безопасности труда (ССБТ) в части охраны природы.

В подразделе «**Требования к условиям эксплуатации**» приводят требования к нормальным значениям внешних воздействующих факторов (ВВФ) по условиям эксплуатации в соответствии ГОСТ 15150-69 и (или) другими действующими НД, а также требование к гарантийному сроку эксплуатации.

В подразделе «**Требования к маркировке и упаковке**» приводят требования:

- к содержанию маркировки создаваемой продукции и (или) основных составных частей продукции собственной разработки (в том числе требования к предупреждающим надписям и знакам в соответствии с требованиями действующих НД, стандартов системы ССБТ);

- к обозначениям класса точности, единиц физических величин, цен делений отсчетных устройств и т.п. для продукции вида СИ (ИО); к местам и способу ее нанесения; к ее качеству (сохраняемости в условиях эксплуатации, транспортирования и хранения);

- к содержанию маркировки тары в соответствии с ГОСТ 14192-96 или другими НД, а также к ее качеству;

- к видам потребительской и (или) транспортной тары;

- к видам временной противокоррозионной защиты (консервации), если он применяется, и к допускаемому сроку сохраняемости до первой переконсервации согласно ГОСТ 23216-78 и (или) другими действующими НД.

В этот же подраздел могут быть включены, при необходимости, требования по подготовке к упаковыванию (к демонтажу, снятию отдельных составных частей и т.п.).

В подразделе **«Требования к транспортированию и хранению»** приводят требования:

- к нормальным значениям ВВФ по условиям транспортирования и хранения в соответствии с ГОСТ 15150-69 и (или) другими действующими НД;

- к условиям транспортирования и видам транспортных средств в соответствии с ГОСТ 23216-78 и (или) другими действующими НД;

- к гарантийному сроку хранения;

- к способам крепления при транспортировании и (или) хранении;

- к особенностям условий хранения (например, требование о допускаемости хранения только в потребительской таре), к техническому обслуживанию при хранении и т.п.

Подраздел **«Требования к патентной чистоте»** включают в ТЗ на продукцию, которая может поставляться на экспорт. В этот подраздел включают требования к обеспечению патентной чистоты в отношении стран предполагаемого экспорта.

В разделе **«Экономические показатели»** указывают ориентировочную экономическую эффективность создания и постановки продукции на производство, предполагаемый объем потребности в создаваемой продукции и др.

В разделе **«Стадии (этапы) разработки (модернизации)»** устанавливают необходимые стадии (этапы) создания продукции и постановки ее на производство.

Кроме того, для продукции, предназначенной для обеспечения безо-

пасности, должен быть предусмотрен этап испытаний с целью подтверждения ее безопасности, далее – «испытания на безопасность» (которые проводятся до этапа эксплуатационных испытаний).

Для каждой установленной стадии (этапа) в данном разделе назначают ориентировочные сроки ее выполнения.

В том же разделе указывают предприятия (организации), ответственные за выполнение каждой стадии или этапа, в том числе предприятие-изготовитель.

В разделе «*Порядок контроля и приемки разработки (модернизации)*» указывают:

- перечень конструкторских документов, подлежащих согласованию и утверждению на отдельных стадиях (этапах) создания продукции и постановки ее на производство, составляемый согласно ГОСТ 2.102-2013. Для каждого документа, включенного в перечень, должны быть указаны предприятия (организации), с которыми данный документ должен быть согласован;

- количество изготавливаемых опытных образцов создаваемой продукции, а для продукции единичного производства разового изготовления – объем ее выпуска.

Обязательным приложением к ТЗ является пояснительная записка, содержащая: анализ отечественного и зарубежного уровня техники по данному направлению; таблицы сравнения показателей продукции с аналогами; обоснованность выбора показателей создаваемой продукции и ее сопрягаемость с другой продукцией; технико-экономический анализ необходимости создания продукции, маркетинговые исследования и анализ объема потребности; обоснование выбора предприятия-изготовителя; другую необходимую информацию.

В зависимости от вида создаваемой продукции, к ТЗ могут разрабатываться приложения:

- отчет о патентных исследованиях;
- для продукции, на которую не предусмотрена разработка ТУ, – методика её испытаний (измерений), разрабатываемая согласно требованиям раздела «Методы контроля» ГОСТ 2.114-95;
- проекты частных ТЗ на единицы сервисного оборудования, разрабатываемые в связи с необходимостью обеспечения контролепригодности или ремонтпригодности создаваемой продукции.

2.3. Техническое задание на разработку соединителя

Далее рассмотрена процедура разработки и выдержки из ТЗ на разработку изделия «Соединитель рельсовый шаберно-пружинный типа СРШП».

Для осуществления шабрения требуется режущая кромка, её перемещение и прижим режущей кромки к рельсу. Так и было сделано. Роль режущей кромки (микрокромки) выполняли грани спечённого материала электрических контактов. Контакты прижимались пружиной. В качестве источника перемещения приняты вибрации, происходящие в рельсовом стыке при прохождении подвижного состава, или температурные перемещения деталей рельсового стыка. Всё устройство располагалось и позиционировалось в пазухе под рельсовой накладкой.

Данный пример разработки ТЗ на одно из железнодорожных изделий показывает его соответствие материалам, изложенным выше, и демонстрирует возможность достижения необходимого технического результата.

Правильно разработанное ТЗ на изделие – это гарантия успеха поиска технического решения.

Авторами ТЗ (рис. 7) являются: О. В. Штанов – директор НТЦ, Б. Я. Мокрицкий – руководитель проекта, В. А. Авальский – ответственный исполнитель работы, конструктор.

2.3.1. Назначение и область применения. Соединитель рельсовый шаберно-пружинный (СРШП и его модификации) предназначен для установки в качестве основного соединителя в рельсовые стыки под рельсовые накладки и служит в качестве токопроводящего (дополнительно к рельсовым накладкам) элемента рельсовых цепей на участках с автономной тягой, при электротяге на переменном и постоянном токе.

СРШП предназначены для рельс типа Р65 и Р75, устанавливаются по одному под каждую рельсовую накладку.

2.3.2. Функции. Основной функцией СРШП (как и приварных, штекерных и пружинных соединителей) является повышение токопроводности рельсовых стыков. Дополнительными функциями СРШП являются:

- стабилизация во времени электротехнических параметров рельсовой цепи;
- повышение надёжности работы рельсовых стыков по величине электрического сопротивления независимо от состояния рельсов, грузонапряженности и окружающей среды.

2.3.3. Область применения. Область применения СРШП аналогична области применения пружинных рельсовых соединителей, изготавливаемых по ТУ 32ЦП 826-97 и применяемых по Техническим указаниям № ЦПТ-77/2, а именно:

- на участках железнодорожного пути с автономной тягой (ток в цепи 0,1 – 5 А, пиковые значения до 10 А, напряжение 6 В);
- на участках железнодорожного пути с электротягой на переменном или постоянном токе (ток в цепи 500 А, пиковые значения до 1000 А, напряжение до 60 В).

СРШП эксплуатируется в климатических условиях, классифицируемых УХЛ-1.

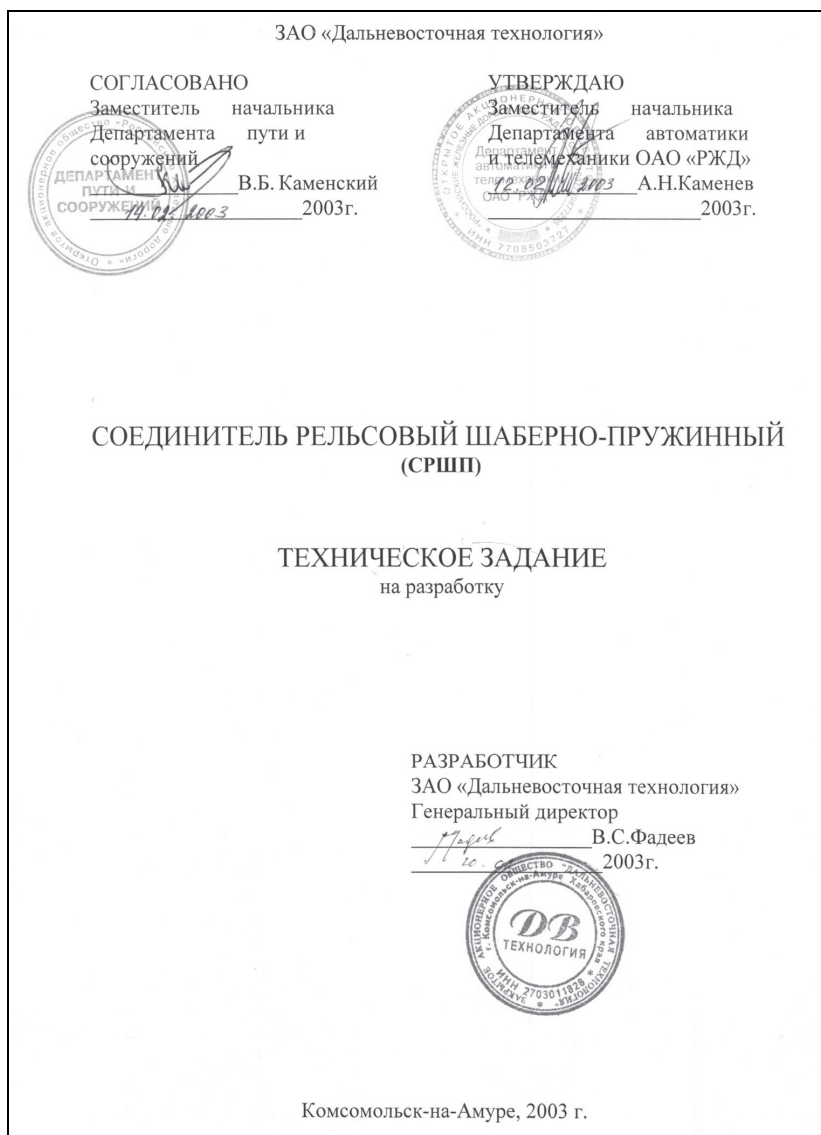


Рис. 7. Титульный лист ТЗ на разработку СРШП

2.3.4. Основание для разработки. Разработка выполняется по заданию ЦШ (пункт 9.4.19, шифр 12.9.4 плана НИОКР на 2003 г.).

2.3.5. Цель разработки. Сокращение затрат на обслуживание рельсовых стыков, а также повышение надежности работы рельсовых стыков по величине электрического сопротивления цепи.

2.3.6. Источники разработки. Источниками являются следующие документы:

1. Технические указания № ЦПТ-77/2 от 12.04.1999 г. по применению пружинных рельсовых соединителей.
2. Соединители рельсовые пружинные. Технические условия ТУ 32ЦП 826-97.
3. Заявки на изобретения № 2002134528, № 2002134526, № 2003103004.

2.3.7. Технические требования. СРШП должен представлять собой цельное (или быстрособираемое) изделие, включающее в себя тоководную пластину с электроконтактными элементами и пружинный элемент(ы). Возможно объединение в одной детали тоководной пластины и пружинного элемента, токопроводной пластины и электроконтактного(ых) элемента(ов).

Материалы деталей СРШП должны быть подобраны так, чтобы электрическое сопротивление рельсового стыка (находящегося в требуемом рабочем состоянии) с установленными в нем двумя СРШП не превышало 200 мкОм, а температура нагрева СРШП не превышала 200 °С.

Физико-механические характеристики (твердость) и другие параметры (формоустойчивость) СРШП или его деталей должны превосходить аналогичные характеристики и параметры рельсов.

Электроконтактные элементы должны обеспечивать удаление окислов с рельсов (при их взаимных перемещениях до 0,1 мм).

Пружинный элемент должен иметь параметры, обеспечивающие прижим электроконтактных элементов к шейке рельса с усилием, достаточным для удаления окислов с шейки рельсов.

2.3.8. Требования надёжности. Работоспособность СРШП должна обеспечиваться:

- при выходе из строя одного из двух устанавливаемых в стыке соединителей;

- при любой грузонапряженности рельсового пути.

СРШП должен полностью удовлетворять требованиям:

- а) технических указаний № ЦТП-77/2 по применению пружинных рельсовых соединителей;

- б) инструкции № ЦЭ-518 по защите железнодорожных подземных сооружений от коррозии блуждающими токами.

Ресурс СРШП не менее 10 лет.

Обслуживание СРШП (в составе рельсового стыка) 1 раз в год.

2.4. Разработка технических условий на продукцию

Технические условия (ТУ) разрабатываются на изделия (продукцию), которые не подпадают под действующие НД (стандарт).



В порядке исключения с целью изменения какой-либо характеристики изделия допускается разработка ТУ и на продукцию, охватываемую действующим стандартом.

ТУ являются неотъемлемым документом КД. Именно на предмет соответствия требованиям ТУ проводятся все виды испытания изделий.

Далее приведены выдержки из ТУ на СРШП, разработанные специалистами ЗАО «Дальневосточная технология» (рис. 8). Настоящие ТУ распространяются на соединители рельсовые шаберно-пружинные типа СРШП,

устанавливаемые в сборные токопроводящие рельсовые стыки термоупрочненных рельсов категорий В, Т1, Т2 ГОСТ Р 51685-2000 типа Р65 и Р75.

ЗАО «Дальневосточная Технология»

СОГЛАСОВАНО	УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель начальника Департамента автоматики и телемеханики ОАО «РЖД»	Генеральный директор ЗАО «Дальневосточная Технология»
 А.И.Каменев 16 июля 2004г.	 В.С.Фадеев 12.05.2004г.
Первый заместитель начальника Департамента пути и сооружений ОАО «РЖД»	
 В.Л.Коняков 16.07.2004г.	

**СОЕДИНИТЕЛЬ РЕЛЬСОВЫЙ
ШАБЕРНО-ПРУЖИННЫЙ ТИПА СРШП**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
ТУ 32 ЦШ 2126-2004**
(введены впервые)

срок введения: с 16.07.2004. срок действия: не регламентирован

Хабаровский край
г. Комсомольск-на-Амуре
2004

КОНТРОЛЬНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР

ИД № 0084

Рис. 8. Титульный лист ТУ на СРШП

Соединитель рельсовый шаберно-пружинный типа СРШП применяется в составе сборного токопроводящего рельсового стыка:

а) без установки приварных и штепсельных соединителей на перегонах и станциях:

- с автономной тягой или электротяге с постоянным или переменным током при укладке пути, его реконструкции и ремонте в границах электрических рельсовых цепей;

- с автономной тягой при эксплуатации пути;
б) с применением тарельчатых пружин и шестидырных накладок на станциях за исключением:

- тяговых ниток однониточных рельсовых цепей;
- не обтекаемых сигнальным током ответвлений рельсовых цепей;

в) совместно с приварными или штепсельными соединителями на перегонах с электротягой с постоянным и переменным током.

Соединитель рельсовый шаберно-пружинный типа СРШП запрещается применять:

- на нетермообработанных рельсах (категория качества Н);
- на рельсах Р50;
- при установке в рельсовый стык менее двух штук СРШП.

Вид климатического исполнения УХЛ, категория размещения 1 классифицируются по ГОСТ 15150-69.

Пример обозначения соединителя рельсового шаберно-пружинного типа СРШП при оформлении заказа: СРШП, чертеж ПТ 50.506.000.00.

ТУ пригодны для сертификации.

2.4.1. Технические требования. Соединитель рельсовый шаберно-пружинный типа СРШП (далее – изделие) должен соответствовать требованиям настоящих ТУ и комплекта документации (КтД) ПТ 50.506.000.00.

Основные параметры и характеристики.

Состав, форма, размеры изделий, присоединительные и габаритные размеры должны соответствовать КтД.

Величина электрического сопротивления изделия между вставками контактными не должна превышать 400 мкОм.

Вид защитного покрытия деталей изделия должен соответствовать КтД. Допускается замена покрытия на виды, обеспечивающие защиту в течение всего гарантийного срока службы изделия.

Требования к сырью и материалам, деталям.

Детали изделия должны быть изготовлены из материалов и сортамента, предусмотренных КтД.

Допускается замена материалов и сортамента только в технически обоснованных случаях с равными или лучшими физико-механическими свойствами.

На деталях изделия в местах рубки, гибки, пайки не допускаются острые заусенцы более 0,5 мм (кроме пружины, на которой заусенцы не допускаются).

Требования к надежности.

Изделие не является ремонтно-пригодным.

При соблюдении условий хранения и транспортирования изделие сохраняет свою функциональную пригодность в течение 6 лет.

Остальные требования к надежности должны соответствовать показателям надежности сборного токопроводящего рельсового стыка.

2.4.2. Правила приемки. Приемку производит ОТК предприятия-изготовителя.

Приемку производят в виде самостоятельных этапов:

1-й этап – приемо-сдаточные испытания партий, сборочных единиц и деталей, входящих в изделие (группы С-1 – С-4).

Партией считается количество изделий, произведенных из материала одной плавки, но не более 5000 шт.

2-й этап – окончательная приемка изделия (группа С-5).

Для контроля качества устанавливаются следующие категории испытаний:

- приемо-сдаточные испытания;
- периодические;
- на надежность.

Порядок контроля указан в табл. 3.

Таблица 3

Порядок контроля

Группа испытаний (контроля)	Контролируемый параметр
С-1	Соответствие КтД детали: вставка контактная
С-2	Соответствие пружины КтД, в том числе: величины осадки, твердости, шероховатости.
	Соответствие КтД вида защитного покрытия детали: пружина
С-3	Соответствие КтД детали: пластина тоководная
	Соответствие КтД вида защитного покрытия детали: пластина тоководная
С-4	Соответствие КтД внешнего вида изделия в сборе
	Соответствие КтД величины электрического сопротивления изделия в сборе
С-5	Комплектность
	Упаковка
	Маркировка
С-6	Соответствие КтД внешнего вида изделия в сборе
	Соответствие КтД величины электрического сопротивления изделия в сборе
С-7	Надежность

Основанием для принятия решения о приемке партии изделий являются результаты приемо-сдаточных испытаний и предшествующих периодических испытаний сборочных единиц и деталей, а также положительные результаты контроля изделий при окончательной приемке.

Приемка продукции Заказчиком (потребителем) осуществляется в соответствии с п. 1.6 ОСТ 32.146-2000 в объеме проверок по группам С-4, С-5, С-6.

2.5. Примеры защиты решений принципиальных устройств соединителя

2.5.1. Патент на полезную модель «Соединитель рельсовый шаберно-пружинный». Номер регистрации 72483 [2]. Защищаемое решение относится к железнодорожной отрасли, в частности к элементам электрических рельсовых цепей и обратной тяговой сети. Техническим результатом предлагаемого решения является упрощение устройства с целью снижения его стоимости и повышения надежности работы за счет исключения переходного электросопротивления между шаберами и тоководной пластиной. Технический результат достигается тем, что число деталей устройства уменьшено до минимума, а именно шаберы выполнены непосредственно на тоководной пластине из ее материала за счет образования шаберов в виде выступов пластины. Технический результат усиливается тем, что шаберы выполнены с твердостью, большей, чем твердость остальной части тоководной пластины, и/или снабжены твердыми частицами, а рабочая поверхность шаберов выполнена сферической.

На рис. 9 представлен титульный лист описания полезной модели.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ		(19) RU (11) 72 483 (13) U1
		(51) МПК E01B 11/54 (2006.01) B60M 5/00 (2006.01)
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ		
(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ(титульный лист)		
(21), (22) Заявка: 2008100449/22, 09.01.2008	(72) Автор(ы): Фадеев Валерий Сергеевич (RU), Мокрыцкий Борис Яковлевич (RU)	
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 09.01.2008	(73) Патентообладатель(и): Фадеев Валерий Сергеевич (RU), Мокрыцкий Борис Яковлевич (RU)	
(45) Опубликовано: 20.04.2008 Бюл. № 11		
Адрес для перепоски: 681024, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Первостроителей, 19, кв.169, а/я 32		
(54) СОЕДИНИТЕЛЬ РЕЛЬСОВЫЙ ШАБЕРНО-ПРУЖИННЫЙ		
(57) Формула полезной модели		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Соединитель рельсовый шаберно-пружинный, содержащий тоководную пластину с шаберами и пружину, отличающийся тем, что шаберы выполнены в виде выступов материала тоководной пластины. 2. Соединитель рельсовый шаберно-пружинный по п.1, отличающийся тем, что рабочая поверхность выступов выполнена сферической. 3. Соединитель по п.1, отличающийся тем, что твердость шаберов выше, чем твердость остальной части тоководной пластины, и/или шаберы снабжены твердыми частицами. 		
		


RU 72483 U1

Рис. 9.
Титульный лист описания полезной модели «Соединитель рельсовый шаберно-пружинный»

2.5.2. Патент на полезную модель «Соединитель рельсовый со средством контроля его наличия, целостности и температуры». Номер регистрации 51369 [3]. Решение относится к железнодорожной отрасли, а именно к элементам электрических рельсовых цепей. Техническим результатом решения является повышение безопасности движения подвижного состава за счет: а) обеспечения возможности визуального наблюдения соединителя или его элементов; б) обеспечения возможности контроля целостности соединителя или его наименее надежных элементов; в) оснащения соединителя регистратором температуры. Технический результат достигается тем, что соединитель содержит тоководную пластину, оснащенную электроконтактными вставками-шаберами, пружину, размещается в пазухе между рельсовой накладкой и шейками стыкуемых рельсов, отличается тем, что дополнительно снабжен выводом, один конец которого выведен в зазор между концами стыкуемых рельсов, другой – прикреплен к пружине либо токопроводной пластине, либо к пружине и токопроводной пластине, причем вывод выполнен из материала, либо снабжен материалом (термокраска и т.д.), регистрирующим температуру нагрева каким-либо физическим признаком, например цветом, в том числе регистрирующим наиболее высокую и наиболее низкую температуры в диапазоне.

На рис. 10 представлен титульный лист описания полезной модели.

Рис. 10. Титульный лист описания полезной модели «Соединитель рельсовый со средством контроля его наличия, целостности и температуры»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ		(19) RU (11) 51 369 (13) U1
		(51) МПК <i>B60M 5/00</i> (2006.01) <i>E01B 11/54</i> (2006.01)
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ		
(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ(титульный лист)		
(21), (22) Заявка: 2005125071/22, 08.08.2005 (24) Дата начала действия патента: 08.08.2005 (45) Опубликовано: 10.02.2006 Бюл. № 4 Адрес для переписки: 681024, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Первостроителей, 19, кв.169, Б.Я. Мокрицкий	(72) Автор(ы): Мокрицкий Борис Яковлевич (RU), Фадеев Валерий Сергеевич (RU), Каменев Александр Иванович (RU) (73) Патентообладатель(ли): Мокрицкий Борис Яковлевич (RU), Фадеев Валерий Сергеевич (RU), Каменев Александр Иванович (RU)	R U 5 1 3 6 9 U 1
(54) СОЕДИНИТЕЛЬ РЕЛЬСОВЫЙ СО СРЕДСТВОМ КОНТРОЛЯ ЕГО НАЛИЧИЯ, ЦЕЛОСТНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ Формула полезной модели 1. Соединитель рельсовый со средством контроля его наличия, целостности и температуры, размещаемый в пазухе между рельсовой накладкой и шейками стыкуемых рельсов, содержащий токопроводную пластину с электроконтактными вставками-шаберами, пружину, отличающийся тем, что снабжен выводом, один конец которого выведен наружу, преимущественно в зазор между торцами стыкуемых рельсов, другой конец выполнен взаимодействующим с пружиной либо пружиной и токопроводной пластиной, преимущественно с токопроводной пластиной, причем соединитель снабжен устройством контроля своей температуры. 2. Соединитель рельсовый по п. 1, отличающийся тем, что выведенный наружу конец вывода выполнен из материала либо снабжен материалом, регистрирующим температуру нагрева физическим признаком, преимущественно цветом. 3. Соединитель рельсовый по п. 1, отличающийся тем, что выведенный наружу конец вывода снабжен термокраской. 4. Соединитель рельсовый по п. 1, отличающийся тем, что выведенный наружу конец вывода содержит два участка регистрации температуры, преимущественно с разной термокраской, один участок регистрирует температуру максимального нагрева, второй - минимального.		

Контрольные вопросы

1. На чём основана методология проектирования изделий?
2. Какие этапы характерны при создании и производстве изделий?
3. Перечислите основные разделы ТЗ.
4. Что указывается в основных разделах ТЗ?
5. Укажите лиц, согласовавших, утвердивших и разработавших ТЗ на разработку СРШП.
6. Опишите основные и дополнительные функции СРШП.
7. Каково основание для разработки СРШП?
8. Какова цель разработки СРШП?
9. Перечислите технические требования, предъявляемые к СРШП.
10. Укажите варианты применения СРШП в составе сборного токопроводящего рельсового стыка.
11. Каковы правила приёмки СРШП?
12. Каков порядок контроля СРШП?
13. Опишите суть полезной модели «Соединитель рельсовый шаберно-пружинный».
14. Опишите суть полезной модели «Соединитель рельсовый со средством контроля его наличия, целостности и температуры».

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ СОЕДИНИТЕЛЯ РЕЛЬСОВОГО ШАБЕРНО-ПРУЖИННОГО ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ РЕЖИМУ РАБОТЫ ЕГО ЭЛЕМЕНТОВ

Ранее указывалось, что соединитель предназначен для работы в электрических рельсовых цепях при управлении подвижным составом (при пропуске управляющих сигналов) на участках пути с автономной тягой или при пропуске управляющих сигналов и обратного тягового тока на участках пути на электротяге с постоянным или переменным током.

Эксплуатация СРШП на электротяге создаёт наиболее нагруженные условия.

Далее приведены отдельные примеры расчёта элементов СРШП при различных значениях тока. Приводимые в расчёте формулы заимствованы из работ [6 – 10], номерами обозначены только те формулы, к которым имеется обращение в тексте.

3.1. Расчёт параметров рельсового соединителя при пропускании стопроцентного тягового тока через один соединитель

Пример предполагает, что в рельсовом стыке смонтирован только один соединитель. Такое условие эксплуатации может соответствовать случаю, когда один соединитель из пары СРШП вышел из строя.

Исходные данные:

- значение тока, проходящего через рельсовый стык, равно 500 А, соответственно значение тока, проходящего через контакт СРШП, также равно $I_K = 500$ А;

- усилие, с которым пружина СРШП прижимает контакт к шейке рельса $F_{пр} = 2500$ Н;

- температура окружающего воздуха $T_{пл.нач} = 70$ °С (верхний предел нагрева воздуха возле рельса в летний период в умеренной климатической зоне).

3.1.1. Расчёт переходного сопротивления в контакте. Расчёт переходного сопротивления R_K выполнен по формуле, заимствованной из источника [8].

Температура в контакте условно принята, равной 300 °С.

$$R_K = \frac{50 \cdot 10^{-4}}{F_K^Z} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot \tau \cdot T_K\right), \quad (1)$$

где $Z = 0,65 - 0,75$ – коэффициент для контакта «сталь-сталь» (принимаем $Z = 0,7$); F_K – усилие в контакте, создаваемое пружиной; $\tau = 9 \cdot 10^{-3}$ – температурный коэффициент сопротивления стали; $T_K = 300$ °С – предполагаемая температура в контакте.

$$F_K = F_{пр} / 2;$$

$$F_K = 2500 / 2 = 1250 \text{ Н};$$

$$R_K = \frac{50 \cdot 10^{-4}}{1250^{0,7}} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 300\right) = 0,95 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

3.1.2. Расчёт установившейся температуры в зоне контакта.

Данный расчёт выполнен по формуле, заимствованной из источника [6]:

$$T_K = T_0 + \frac{\rho \cdot I_K^2}{p \cdot S \cdot K_T} + \frac{R_K \cdot I_K^2}{2\sqrt{\lambda} \cdot p \cdot S \cdot K_T} + \frac{R_K^2 \cdot I_K^2}{8\lambda\rho}, \quad (2)$$

где $\rho = 18,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м – удельное сопротивление контактного элемента (сплав ВК-8); p и S – периметр и площадь сечения токопроводящих элементов (из сплава ВК-8); $K_T = 30$ Вт/(м·°С) – коэффициент теплоотдачи с

поверхности токопроводящего элемента ([6, табл. 3]); $\lambda = 50,2$ Вт/(м·°С) – удельная теплопроводность сплава ВК-8.

$$p = \pi d;$$

$$p = 3,14 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 45,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$S = 0,785 \cdot d^2;$$

$$S = 0,785 \cdot (15 \cdot 10^{-3})^2 = 0,177 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$T_K = 70 + \frac{18,6 \cdot 10^{-8} \cdot 500^2}{47,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,177 \cdot 10^{-3} \cdot 30} + \frac{0,95 \cdot 10^{-4} \cdot 500^2}{2 \sqrt{50,2 \cdot 47,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,177 \cdot 10^{-3} \cdot 30}} + \frac{(0,95 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 500^2}{8 \cdot 50,2 \cdot 18,6 \cdot 10^{-8}};$$

$$T_K = 70 + 186 + 106 + 30,2 = 392 \text{ °С.}$$

3.1.3. Расчёт установившейся температуры нагрева токопроводящей пластины соединителя. Температура $T_{\text{пл.уст}}$ нагрева токопроводящей пластины СРШП рассчитывается по формуле

$$T_{\text{пл.уст}} = T_{\text{пл.нач}} + \frac{I_{\text{пл}}^2 R_{\text{пл}}}{K_T F_{\text{опл}}}, \quad (3)$$

где $R_{\text{пл}}$ – сопротивление токопроводящей пластины (сталь 3); $F_{\text{опл}}$ – расчетная площадь теплоотдачи токопроводящей пластины; $I_{\text{пл}}$ – ток через пластину (с учётом отвода тока через пружину); $K_T = 17,8$ Вт/(м·°С) – коэффициент теплоотдачи при температуре $T_{\text{пл}} = 200$ °С ([6, табл. 3]).

$$R_{\text{пл}} = \rho_n (1 + \tau \cdot T_{\text{пл}}) \cdot \frac{l_1}{S_1}, \quad (4)$$

где $T_{\text{пл}} = 200$ °С – предполагаемая температура нагрева пластины; S_1 – площадь сечения пластины; $l_1 = 125$ мм – расстояние между контактными элементами вдоль пластины.

$$S_1 = b \cdot h,$$

где $b = 45$ мм – ширина пластины; $h = 4,0$ мм – толщина пластины.

$$S_1 = 45 \cdot 4 = 180 \text{ мм.}$$

$$R_{\text{пл}} = 16,9 \cdot 10^{-8} \left(1 + 9 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \right) \frac{125 \cdot 10^{-3}}{180 \cdot 10^{-6}} = 32,86 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$$F_{\text{опл}} = 2(b + h) l',$$

где $l' = 182$ мм – длина пластины, учитываемая для определения площади теплоотдачи.

$$F_{\text{опл}} = 2(45 + 4) \cdot 182 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 17,84 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$I_{\text{пл}} = I - I_{\text{пр}};$$

$$I_{\text{пл}} = 500 - 0,75 \cdot 500 = 500 - 87 = 413 \text{ А.}$$

$$T_{\text{пл.уст}} = 70 + \frac{413^2 \cdot 32,86 \cdot 10^{-5}}{17,8 \cdot 17,84 \cdot 10^{-3}} = 70 + 176 = 246 \text{ }^\circ\text{С.}$$

3.1.4. Расчёт уравнения нагрева токопроводящей пластины.
Постоянная времени нагрева пластины T рассчитывается по формуле

$$T = \frac{C}{K_{\text{T}}^{\text{ср}} \cdot F_{\text{опл}}}, \quad (5)$$

где C – теплоёмкость пластины; $K_{\text{T}}^{\text{ср}}$ – среднее значение коэффициента K_{T} за время нагрева пластин с 70 до 200 $^\circ\text{С}$.

$$K_{\text{T}}^{\text{ср}} = K_{\text{Tср}} = \frac{1}{2} (K_{\text{T}}^{70} + K_{\text{T}}^{200});$$

$$K_{\text{T}}^{\text{ср}} = \frac{1}{2} (7 + 17,8) = 12,4 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С}).$$

$$C = c \cdot m,$$

где m – масса пластины.

$$m = V_{\text{пл}} \cdot \gamma,$$

где $V_{\text{пл}}$ – объём пластины.

$$V_{\text{пл}} = b \cdot h \cdot l;$$

$$V_{\text{пл}} = 45 \cdot 4 \cdot 182 = 32\,760 \text{ мм}^3 = 32,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$m = 32,76 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 = 0,255 \text{ кг.}$$

$$C = 470 \cdot 0,255 = 119,8 \text{ Дж}/\text{К.}$$

$$T = \frac{119,8}{12,4 \cdot 17,84 \cdot 10^{-3}} = 541 \text{ с.}$$

Уравнение кривой нагрева пластины имеет вид

$$T_{\text{пл}} = T_{\text{пл.нач}} e^{\frac{-t}{541}} + 246 \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{541}} \right).$$

Рассчитаем температуру нагрева за время 20 мин (т.е. 1200 с) – за это время через рельсовый стык пройдёт подвижный состав любой длины.

$$\text{Степень } \frac{t}{541} = \frac{1200}{541} = 2,22.$$

$$e^{-2,22} = 0,1086.$$

$$T_{\text{пл}} = 70 \cdot 0,1086 + 246(1 - 0,1086) = 227 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Значение температуры $227 \text{ }^\circ\text{C}$ не является опасным ни для какого из элементов СРШП, в том числе ни для какого из используемых материалов.

3.2. Расчёт электрического сопротивления соединителя при повышенном значении тока в рельсовом стыке

В отдельных случаях, например при прохождении подвижного состава на участке пути, лежащем рядом с электрической подстанцией, значение тока может возрасти по разным причинам на $20 - 50 \text{ А}$, т.е. $I = 550 \text{ А}$.

Для удобства расчётов составим электрическую схему замещения СРШП (рис. 11).



Рис. 11. Схема замещения одного СРШП

Активное сопротивление контактного элемента $R_{\text{кэ}}$ рассчитывается по формуле

$$R_{\text{кэ}} = \rho_{\text{кэ}} (1 + \tau \cdot T_{\text{кэ}}) \cdot \frac{h_3}{S_3}, \quad (6)$$

где $T_{\text{кэ}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ – расчётная температура контактного элемента (оценивается как среднее между $T_{\text{к}}$ и $T_{\text{пл}}$); $h_3 = 4 \text{ мм}$ – размер контактного элемента вдоль линии протекания тока; S_3 – сечение цилиндра контактного элемента.

$$S_3 = 0,785 d^2;$$

$$S_3 = 0,785 (15 \cdot 10^{-3})^2 = 177 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

$$R_{\text{кэ}} = 18,6 \cdot 10^{-8} \left(1 + 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \right) \frac{4 \cdot 10^{-3}}{177 \cdot 10^{-6}} = 1,06 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Электрическое сопротивление СРШП при повышенном значении тока в рельсовом стыке вычисляется по формуле

$$R_{\text{сршп}} = 2(R_{\text{к}} + R_{\text{кэ}}) + R_{\text{пл}};$$

$$R_{\text{сршп}} = 2(9,5 + 1,06) + 32,86 = 55,7 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Из расчёта следует, что значение электрического сопротивления СРШП значительно меньше допустимого (регламентируемого) значения 100 Ом .

3.3. Расчёт электрических потерь и падения напряжения в соединителе при протекании тока $I_p = 500$ А

Электрические потери рассчитываются по формуле

$$\Delta P_{\text{сршп}} = I_p^2 R_{\text{сршп}}; \quad (7)$$

$$\Delta P_{\text{сршп}} = 500^2 \cdot 55,7 \cdot 10^{-5} = 139,4 \text{ Вт.}$$

Падение напряжения определяется по формуле

$$\Delta U_{\text{сршп}} = I_p \cdot R_{\text{сршп}}; \quad (8)$$

$$\Delta U_{\text{сршп}} = 500 \cdot 55,7 \cdot 10^{-5} = 0,28 \text{ В.}$$

Из расчёта следует, что электрические потери в СРШП незначительны (менее 140 Вт), а падение напряжения составляет всего лишь 0,28 В.

3.4. Расчёт параметров рельсового соединителя при пропускании тягового тока через два соединителя

Пусть принято, что в рельсовый стык устанавливаются два СРШП, по одному под каждую рельсовую накладку. Ранее расчётами показано, что с позиций качества электрического контакта вполне достаточно в рельсовом стыке применять один СРШП. Но на случай отказа одного СРШП может быть принято решение об установке двух СРШП.

Далее электротехническими расчётами проверена возможность установки двух СРШП.

В этом случае ток в равной мере распределяется между двумя СРШП, т.е. ток электрического контакта равен 250 А, $I_k = 250$ А. Усилие пружины и температуру окружающей среды принимаем прежними: $F_k = 1250$ Н; $T_o = 70$ °С.

3.4.1. Расчёт переходного сопротивления в контакте. Переходное сопротивление находится по формуле (1), где предполагаемая расчётная температура в контакте $T_k \approx 200$ °С.

$$R_k = \frac{50 \cdot 10^{-4}}{1250^{0,7}} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \right) = 0,747 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Отсюда следует, что сопротивление вполне приемлемо.

3.4.2. Расчёт установившейся температуры в контакте при длительном протекании. Температура в контакте при длительном протекании рассчитывается по формуле (2)

$$T_k = 70 + 78,3 + 27 + 4,6 = 180 \text{ °С.}$$

Температура вполне приемлема для всех материалов и элементов СРШП.

3.4.3. Расчёт установившейся температуры нагрева токопроводящей пластины $T_{пл.уст}$. Температура нагрева пластины определяется по формуле (3), где $I_{пл} = I_K - 0,175 I_K$; расчетная температура пластины $T_{пл} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$; $K_T = 9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ – коэффициент теплоотдачи при температуре $T_{пл} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$I_{пл} = 250 - 0,175 \cdot 250 = 206,2 \text{ А};$$

$$R_{пл} = 16,9 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 9 \cdot 10^{-3} \cdot 100) \cdot \frac{125 \cdot 10^{-3}}{180 \cdot 10^{-6}} = 22,3 \cdot 10^{-5} \text{ Ом};$$

$$T_{пл.уст} = 70 + \frac{206,2^2 \cdot 22,3 \cdot 10^{-5}}{9 \cdot 17,84 \cdot 10^{-3}} = 70 + 59 = 129 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Из расчёта следует, что значение температуры приемлемо, сечение пластины достаточно.

3.4.4. Расчёт активного сопротивления двух СРШП при значении тока $I_p = 500 \text{ А}$. Сопротивление контактного элемента (рис. 12) рассчитывается по формуле (6), при этом

$$T_{к.э} = \frac{1}{2}(T_K + T_{пл.уст});$$

$$T_{к.э} = \frac{1}{2}(180 + 129) = 155 \text{ }^\circ\text{C}.$$

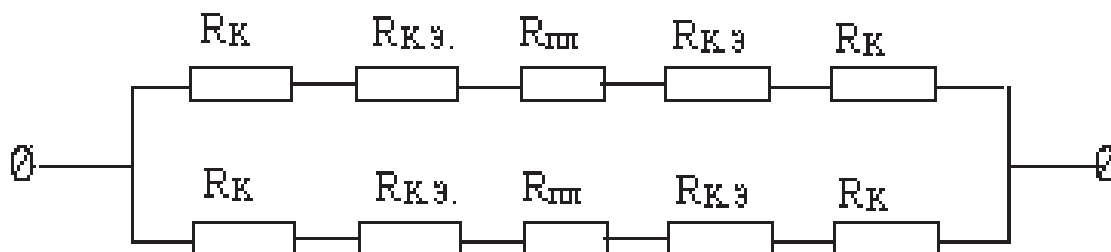


Рис. 12. Схема замещения двух СРШП

$$R_{к.э} = 18,6 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot 155) \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{177 \cdot 10^{-6}} = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Сопротивление одной параллельной ветви схемы замещения вычисляется по формуле

$$R'_{сршп} = 2(R_k + R_{к.э}) + R_{пл};$$

$$R'_{сршп} = 2(7,47 + 1,26) + 22,3 = 39,76 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление СРШП постоянному току определяется по формуле

$$R_{\text{сршп}} = R'_{\text{сршп}} / 2;$$

$$R_{\text{сршп}} = 39,76 / 2 \cdot 10^{-5} = 19,88 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Указанные сопротивления показывают, что и в случае аварийного скачка значения тока до 500 А СРШП выдерживают токовую нагрузку.

3.4.5. Электрические потери и падение напряжения в СРШП при значении тока $I_p = 500$ А. Электрические потери рассчитываются по формуле (7)

$$\Delta P_{\text{сршп}} = 500^2 \cdot 19,88 \cdot 10^{-5} = 49,7 \text{ Вт.}$$

Падение напряжения находится по формуле (8)

$$\Delta U_{\text{сршп}} = 500 \cdot 19,88 \cdot 10^{-5} = 0,0994 \text{ В} \approx 1 \text{ В.}$$

Рассчитанные значения потерь и падения напряжения минимальны и приемлемы.

3.5. Расчёт параметров рельсового соединителя при пропускании пятидесятипроцентного тягового тока через два соединителя

Данное значение тока маловероятно, но оно возможно на отдалённых от подстанций участках пути при одновременном нахождении на них нескольких подвижных составов. Соответственно, необходимо провести требующиеся электротехнические расчёты для определения потребности в управлении процессом шабрения.

Исходные данные:

- рабочий тяговый ток $I = 500$ А;
- 50 % тягового тока $I_p = 250$ А;
- ток через контакт $I_k = 250 / 2 = 125$ А;
- усилие в контакте $F_k = 1250$ Н;
- температура окружающего воздуха $T_0 = 70$ °С.

3.5.1. Переходное сопротивление в контакте. Переходное сопротивление рассчитывается по формуле (1), где предполагаемая расчётная температура в контакте $T_k \approx 120$ °С.

$$R_k = \frac{50 \cdot 10^{-4}}{1250^{0,7}} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \right) = 0,58 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

3.5.2. Установившаяся температура в контакте при значении тока $I_k = 125$ А. Температура в контакте при длительном протекании вычисляется по формуле (2), где $K_T = 10$ Вт/(м²·°С) при $T_k = 120$ °С.

$$T_k = 70 + 34,8 + 7 + 0,7 = 113 \text{ °С.}$$

3.5.3. Установившаяся температура нагрева токопроводящей пластины при значении тока $I_K = 125$ А. Температура нагрева пластины определяется по формуле (3), где $I_{пл} = I_K - 0,175 I_K$; расчетная температура пластины $T_{пл} = 70$ °С; $K_T = 7$ Вт/(м²·°С) – коэффициент теплоотдачи при температуре $T_{пл} = 70$ °С.

$$I_{пл} = 125 - 0,175 \cdot 125 = 103,1 \text{ А};$$

$$R_{пл} = 16,9 \cdot 10^{-8} (1 + 9 \cdot 10^{-3} \cdot 70) \cdot \frac{125 \cdot 10^{-3}}{180 \cdot 10^{-6}} = 19,13 \cdot 10^{-5} \text{ Ом};$$

$$T_{пл.уст} = 70 + \frac{103,1^2 \cdot 19,13 \cdot 10^{-5}}{7 \cdot 17,84 \cdot 10^{-3}} = 70 + 16,3 = 86,3 \text{ °С}.$$

3.5.4. Электрическое сопротивление двух СРШП при значении тока $I_p = 250$ А. Сопротивление контактного элемента рассчитывается по формуле (6), при этом

$$T_{к.э} = \frac{1}{2} (113 + 86,3) = 99,65 \approx 100 \text{ °С};$$

$$R_{к.э} = 18,6 \cdot 10^{-8} \left(1 + 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot 100\right) \frac{5 \cdot 10^{-3}}{177 \cdot 10^{-6}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Схема замещения соответствует схеме, представленной на рис. 12.

$$R'_{сршп} = 2(R_k + R_{к.э}) + R_{пл};$$

$$R'_{сршп} = 2(5,8 + 1) \cdot 10^{-5} + 19,13 \cdot 10^{-5} = 32,73 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

$$R_{сршп} = R'_{сршп} / 2;$$

$$R_{сршп} = 32,73 / 2 = 16,36 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

3.5.5. Электрические потери и падение напряжения в СРШП при значении тока $I_p = 250$ А. Электрические потери находятся по формуле (7)

$$\Delta P_{сршп} = 16,36 \cdot 10^{-5} \cdot 250^2 = 10,22 \text{ Вт}.$$

Падение напряжения определяется по формуле (8)

$$\Delta U_{сршп} = 16,36 \cdot 10^{-5} \cdot 250 = 0,041 \text{ В}.$$

3.6. Расчёт параметров рельсового соединителя при пропускании стопроцентного тока управления через один соединитель

Данный случай соответствует ситуации, когда СРШП эксплуатируются на участках пути с автономной тягой, т.е. электрическая рельсовая цепь используется только для передачи команд управления.

Исходные данные:

- ток управления (100 %) $I_y = 5$ А;
- ток через контакт $I_k = 5$ А;
- усилие пружины в контакте $F_k = 1250$ Н;
- температура окружающей среды $T_o = T_{нач} = 70$ °С.

3.6.1. Переходное сопротивление в контакте. Переходное сопротивление рассчитывается по формуле (1), где предполагаемая расчётная температура в контакте $T_k \approx 70$ °С.

$$R_k = \frac{50 \cdot 10^{-4}}{1250^{0,7}} \left(1 + \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 70 \right) = 0,48 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

3.6.2. Температура в контакте. Температура в контакте при длительном протекании вычисляется по формуле (2), где $K_T = 7$ Вт/(м²·°С) при $T_k \approx 70$ °С.

$$T_k = 70 + 0,079 + 0,01 + 0,0007 = 70,1 \text{ °С.}$$

3.6.3. Сопротивление СРШП постоянному току при $I_y = 5$ А. Сопротивление находится по схеме замещения, представленной на рис. 11.

Принимаем значение температуры токопроводящей пластины, равное $T_o = 70$ °С.

Тогда

$$R_{пл} = 19,13 \cdot 10^{-5} \text{ Ом;}$$

$$R_{сршп} = 2(4,8 + 0,85) \cdot 10^{-5} + 19,13 \cdot 10^{-5} = 30,43 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

3.6.4. Электрические потери и падение напряжения в одном СРШП при $I_y = 5$ А. Электрические потери определяются по формуле (7)

$$\Delta P_{сршп} = 5^2 \cdot 30,43 \cdot 10^{-5} = 0,76 \cdot 10^2 \text{ Вт.}$$

Падение напряжения рассчитывается по формуле (8)

$$\Delta U_{сршп} = 5 \cdot 30,43 \cdot 10^{-5} = 0,152 \cdot 10^{-2} \text{ В.}$$

3.7. Расчёт параметров соединителя при пропуске стопроцентного тока управления через два соединителя

Данный случай может иметь место только с позиций дублирования одного СРШП вторым для исключения того случая, что СРШП забыли установить в рельсовый стык.

Исходные данные:

- ток управления (100 %) $I_y = 5$ А;
- ток через контакт $I_k = 5 / 2 = 2,5$ А;

- усилие пружины $F_K = 1250 \text{ Н}$;
- температура окружающей среды $T_o = 70 \text{ }^\circ\text{С}$.

Так как ток $I_K < I_y$, то температура в контакте, температура контактного элемента и токопроводящей пластины не превышают температуры окружающей среды $T_o = 70 \text{ }^\circ\text{С}$.

Тогда

$$R_K = 0,48 \cdot 10^{-4} \text{ Ом};$$

$$R_{\text{пл}} = 19,13 \cdot 10^{-5} \text{ Ом при } T_K = T_{\text{пл}} = 70 \text{ }^\circ\text{С};$$

$$R_{\text{к.э}} = 0,85 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

При параллельной работе двух СРШП по электрической схеме замещения, приведённой на рис. 12, получается, что

$$R'_{\text{сршп}} = 30,43 \cdot 10^{-5} \text{ Ом};$$

$$R_{\text{сршп}} = 30,43 \cdot 10^{-5} / 2 = 15,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Электрические потери и падение напряжения в двухстороннем СРШП при $I_y = 5 \text{ А}$ соответственно составят

$$\Delta P_{\text{сршп}} = 5^2 \cdot 15,2 \cdot 10^{-5} = 0,38 \cdot 10^{-2} \text{ Вт};$$

$$\Delta U_{\text{сршп}} = 5 \cdot 15,2 \cdot 10^{-5} = 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ В}.$$

3.8. Расчёт температуры элементов соединителя при пиковых значениях тягового тока $I = 1500 \text{ А}$, действующего в течение пяти секунд

Это случай аварийной нештатной ситуации и, соответственно, необходим электротехнический расчёт с позиции управления процессом шабрения за счёт рационализации конструкции или материалов элементов СРШП.

Пусть дано:

- ток через контакт $I_K = 1500 \text{ А}$;
- усилие в контакте $F_K = 1250 \text{ Н}$.

3.8.1. Оценочная температура в зоне контакта. Переходное сопротивление рассчитывается по формуле (1)

$$T_K = 70 + \frac{18,6 \cdot 10^{-8} \cdot 1500^2}{47,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,177 \cdot 10^{-3} \cdot 30} = 70 + 1673 = 1743 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Вывод: температура в зоне контакта высока и при длительном протекании тока $I = 1500 \text{ А}$ выходит за пределы термического деформирования и расплава стали. Необходимо выполнить расчет кривой нагрева контактных элементов с целью снизить температуру до приемлемых значений за счёт управления размерами и материалом контактных элементов (шаберов).

3.8.2. Расчет кривой нагрева контактных элементов. Положим, что шаберы (контактные элементы) выполнены из твёрдого сплава марки ВК-8. Контактный элемент имеет цилиндрическую форму (рис. 13), верхней своей стороной монтируется (например, приклеивается) в гнездо на тоководной пластине. Сферическая часть контактирует с шейкой рельса. Функцию шаберов на сферической части контактного элемента выполняют грани зёрен твёрдой фазы твёрдого сплава, а именно грани зёрен карбидов вольфрама.

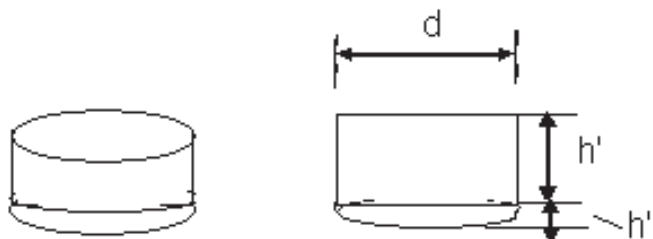


Рис. 13. Конструктивное оформление контактного элемента – шабера

Размеры контактного элемента:

- $d = 15$ мм;
- $h' = 3$ мм;
- $h'' = 2$ мм.

Объём контактного элемента вычисляется по формуле

$$V_{эл} = 0,785 d^2 (h' + 0,5h'');$$

$$V_{эл} = 0,785 (15 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (3 + 0,5 \cdot 2) \cdot 10^{-3} = 70,65 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Масса контактного элемента находится по формуле

$$m_{эл} = V_{эл} \cdot \gamma,$$

где $\gamma = 14\,500 \text{ кг/м}^3$ – удельная плотность сплава ВК-8.

$$m_{эл} = 70,65 \cdot 10^{-8} \cdot 14\,500 = 0,0102 \text{ кг} = 10,2 \text{ г}.$$

Теплоёмкость контактного элемента рассчитывается по формуле

$$C_{эл} = m_{эл} \cdot C,$$

где $C = 200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ – удельная теплоёмкость ВК-8.

$$C_{эл} = 0,0102 \cdot 200 = 2,04 \text{ Дж/К}.$$

Установившаяся температура контактного элемента без учёта теплоотвода в пластину определяется по формуле

$$Q_{уст} = Q_{нач} + \frac{I_K^2 (R_{эл} + R_K)}{2K_T \cdot F_{оЭл}},$$

где $R_K = 0,95 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$ при $T_{Кср} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$; $F_{оЭл}$ – поверхность теплоотдачи контактных элементов.

$$R_{\text{эл}} = 18,6 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot 300) \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{0,177 \cdot 10^{-3}} = 0,106 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

при $T_{\text{эл.ср}} \approx 300 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$F_{\text{оЭл}} = \pi \cdot d \cdot h' + 2 \cdot 0,785 \cdot d^2;$$

$$F_{\text{оЭл}} = 3,14 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,785 \cdot (15 \cdot 10^{-3})^2 = 0,588 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{уст}} = 70 + \frac{1500^2 (0,95 + 0,106) \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 30 \cdot 0,588 \cdot 10^{-3}} = 6805 \text{ К.}$$

Постоянная нагрева контактного элемента рассчитывается по формуле

$$T_{\text{вр.эл}} = \frac{C_{\text{эл}}}{K_{\text{T}} \cdot F_{\text{оЭл}}},$$

где $K_{\text{T}} = 30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ при $T_{\text{Кср}} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$T_{\text{вр.эл}} = \frac{2,04}{30 \cdot 0,588 \cdot 10^{-3}} = 115,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Тогда уравнение кривой нагрева контактного элемента имеет вид

$$Q_{\text{кэ}} = 70 \cdot e^{\frac{-t}{115,6}} + 6805 \left(1 - e^{\frac{-t}{115,6}} \right). \quad (9)$$

Расчет температуры контактного элемента по формуле (9) для заданных значений времени t действия тока сведен в табл. 4.

Таблица 4

Значение температуры нагрева контактного элемента при различном времени действия тока

Время t , с	5	10	20	60
$Q_{\text{кэ}}$, $^\circ\text{C}$	353	631	1144	2826

Из данных табл. 4 следует, что нагрев более 5 – 10 с не допустим в связи с тем, что при температуре более $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ возможно размягчение кобальта (мягкая фаза в твердом сплаве ВК-8), что может привести к невозвратимой деформации контактного элемента.

3.8.3. Расчёт кривой нагрева токопроводящей пластины при пиковом значении тока 1500 А. Установившаяся температура нагрева пластины вычисляется по формуле

$$Q_{\text{уст.п}} = Q_{\text{нач}} + \frac{I_{\text{пл}}^2 \cdot R_{\text{пл}}}{K_{\text{T}} \cdot F_{\text{опл}}},$$

где $I_{\text{пл}} = 1500 - 0,175 \cdot 1500 = 1234,8$ А – ток через пластину с учётом отвода части тока через пружину; $R_{\text{пл}} = 43,4 \cdot 10^{-5}$ Ом при $T_{\text{пл}} = 300$ °С (по формуле (4)); $K_T = 30$ Вт/(м²·°С) при $T_{\text{пл}} = 300$ °С.

$$Q_{\text{уст.п}} = 70 + \frac{1235^2 \cdot 43,4 \cdot 10^{-5}}{30 \cdot 17,84 \cdot 10^{-3}} = 1236 \text{ °С.}$$

Постоянная времени нагрева пластины находится по формуле (5)

$$T_{\text{вр.п}} = \frac{C_{\text{пл}}}{K_T \cdot F_{\text{опл}}}.$$

$$C_{\text{пл}} = m_{\text{пл}} \cdot C,$$

где $C_{\text{пл}}$ – теплоёмкость пластины; $m_{\text{пл}}$ – масса пластины.

$$C_{\text{пл}} = 0,255 \cdot 470 = 119,85 \text{ Дж/К.}$$

$$m_{\text{пл}} = V_{\text{пл}} \cdot \gamma_{\text{ост}},$$

где $V_{\text{пл}}$ – объём пластины.

$$m_{\text{пл}} = 32,7 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 = 0,255 \text{ кг.}$$

$$V_{\text{пл}} = b \cdot h \cdot l;$$

$$V_{\text{пл}} = 45 \cdot 4 \cdot 182 = 32,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$T_{\text{вр.п}} = \frac{119,85}{30 \cdot 17,84 \cdot 10^{-3}} = 224 \text{ с.}$$

Тогда уравнение кривой нагрева пластины при токе $I_K = 1500$ А будет иметь вид

$$Q_{\text{пл}} = 70 \cdot e^{\frac{-t}{224}} + 1236 \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{224}} \right). \quad (10)$$

Значения температур $Q_{\text{пл}}$ нагрева тоководной пластины при различном времени нагрева рассчитаны по уравнению (10) и приведены в табл. 5.

Таблица 5

Температура нагрева тоководной пластины
при различном времени нагрева

Время t , с	5	10	20	60	224
$Q_{\text{пл}}$, °С	96	212	170	344	816

Анализ данных табл. 5 показывает, что тоководная пластина выдерживает токовую нагрузку.

3.9. Расчёт температуры нагрева пружины

Исходные данные:

- материал пружины – сталь марки 50ХФА;
- ширина пластины пружины $b = 34$ мм;
- толщина пластины пружины $h = 2,7$ мм;
- удельное электросопротивление материала пластины пружины $\rho_{\text{пр}} = 32 \cdot 10^{-8}$ Ом·м;
- длина $l_2 = 130$ мм;
- материал токопроводящей пластины – сталь марки 3;
- ширина $b_1 = 45$ мм;
- толщина $h_1 = 4$ мм;
- длина $l_1 = 125$ мм;
- электросопротивление $\rho = 16,9 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Расчет переходного сопротивления в контакте «пружина-пластина». Среднее удельное сопротивление в контакте рассчитывается по формуле

$$\rho_{\text{к}} = \frac{1}{2} (\rho_{\text{пр}} + \rho_{\text{п}});$$
$$\rho_{\text{к}} = \frac{1}{2} (32 + 16,9) \cdot 10^{-8} = 24,45 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Определяем $R_{\text{кп}}$ по двум формулам и усредняем

$$R'_{\text{кп}} = \frac{1}{2} \rho_{\text{к}} \sqrt{\frac{\pi \cdot \delta_{\text{см}}}{\eta \cdot F_{\text{к}}}},$$

где $\delta_{\text{см}} = 600$ МПа для стали; $F_{\text{к}} = 1250$ Н – усилие в контакте; $\eta = 3$ – для плоскостного контакта [6].

$$R'_{\text{кп}} = \frac{1}{2} \cdot 24,45 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot 600 \cdot 10^6}{3 \cdot 1250}} = 8,66 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

$$R''_{\text{кп}} = \frac{24 \cdot 10^{-4}}{F_{\text{к}}^{0,7}} = 0,163 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

$$R_{\text{кп}} = \frac{1}{2} (R'_{\text{кп}} + R''_{\text{кп}});$$

$$R_{\text{кп}} = 0,514 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

Рассчитываем активные сопротивления пластины R_1 и пружины R_2

$$R_1 = \rho_{\text{п}} \frac{l_1}{S_1},$$

где $S_1 = 4 \cdot 45 = 180$ мм².

$$R_1 = 16,9 \cdot 10^{-8} \frac{125 \cdot 10^{-3}}{180 \cdot 10^{-6}} = 11,74 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$$R_2 = \rho_{\text{пр}} \frac{l_2}{S_2},$$

где $S_2 = 2,7 \cdot 34 = 92 \text{ мм}^2$.

$$R_2 = 32 \cdot 10^{-8} \frac{130 \cdot 10^{-3}}{92 \cdot 10^{-6}} = 45,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Схема замещения электрического соединения пластины и пружины представлена на рис. 14.

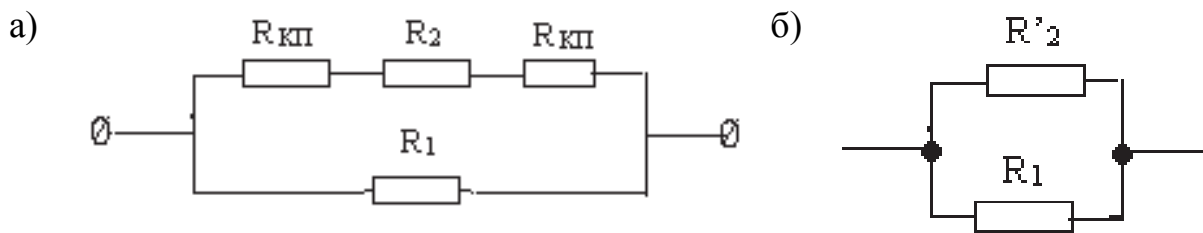


Рис. 14. Схема замещения электрического соединения «пружина-тоководная пластина»: а – принципиальная схема; б – эквивалентная схема

Суммируем сопротивления одной ветви с R_2

$$R_2' = 2R_{\text{кп}} + R_2;$$

$$R_2' = 5,548 \cdot 10^{-4} \text{ Ом};$$

$$R_1 = 1,174 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Отношение сопротивлений пружины и пластины с учетом сопротивления контакта будет иметь значение

$$R_2' / R_1 = \frac{5,548}{1,174} = 4,72.$$

Составим уравнение $(100 - x) / x = 4,72$.

Следовательно, $100 = x(1 + 4,72)$ или $x = \frac{100}{5,72} = 17,5 \%$.

Тогда ток через пружину составит 17,5 % от общего тока, протекающего через контакты.

Рассчитаем нагрев пружины при токе через СРШП, равном 500 А:

$$I_{\text{пр}} = 0,175 \cdot 500 = 88 \text{ А.}$$

$$R_2^t = R_2 (1 + \tau \cdot T_{\text{пр}});$$

$$R_2^l = 45,2(1 + 9 \cdot 10^{-3} \cdot 120) = 94 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$$F_{\text{опр}} = 2(b + h) \cdot l_2,$$

где l_2 – длина пружины для расчета поверхности охлаждения (с учетом изгибов).

$$l_2 = 130 + 30 = 160 \text{ мм.}$$

$$F_{\text{опр}} = 2(34 + 2,7) \cdot 10^{-3} \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 11,74 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{пр.уст}} = \frac{I_{\text{пр}}^2 \cdot R_2^l}{K_T \cdot F_{\text{опр}}} + Q_{\text{нач}},$$

где $K_T = 9$ (при $Q_{\text{пр}} \approx 100 \text{ }^\circ\text{C}$).

$$Q_{\text{пр.уст}} = \frac{88^2 \cdot 94 \cdot 10^{-5}}{9 \cdot 11,74 \cdot 10^{-3}} + 70 = 139 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Оценим нагрев пружины при токе $I = 1500 \text{ А}$

$$I_{\text{пр}} \approx 270 \text{ А (18 \% от 1500 А);}$$

$$Q_{\text{пр.уст}} = \frac{270^2 \cdot 118,4 \cdot 10^{-5}}{18 \cdot 11,74 \cdot 10^{-3}} + 70 = 478 \text{ }^\circ\text{C}$$

при

$$R_2^l = 45,2(1 + 9 \cdot 10^{-3} \cdot 180) = 118,4 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Через 5 с действия тока температура пружины не превысит $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вывод: в самых тяжелых режимах по току температура пружины не превысит $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Эта температура для пружины не является критической. Таким образом, пружину можно считать элементом надёжным с позиций выдерживания всех режимов токовой нагрузки.

3.10. Расчёт коэффициента теплоотдачи с токоведущих элементов соединителя

Коэффициент теплоотдачи K_T , Вт/(м²·°C) определяется по формуле, приведённой в пункте 24-3 работы [6]

$$K_T = 1,33 \frac{(T - T_{\text{окр}})^{\frac{1}{4}}}{l^{\frac{1}{4}}} + 2,04 \cdot 10^{-7} \cdot T_{\text{окр}}^3 \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{2,08T}{T_{\text{окр}}} - 1 \right),$$

где T – температура элемента, К; $T_{\text{окр}}$ – температура окружающего воздуха, К; l – определяющий размер элемента (высота токоведущей шины, диаметр круглых проводников), м; ε – степень черноты для материала проводника (для оцинкованной стали $\varepsilon = 0,22 - 0,27$).

Расчет K_m для токопроводящей пластины при $T = 100$ °С. Переводим температуру в градусы Кельвина: $T = 100 + 273 = 373$ К.

$$T_{\text{окр}} = 70 + 273 = 343 \text{ К.}$$

Принимаем численные значения $l = 45 \cdot 10^{-3}$ м (ширина пластины), $\varepsilon = 0,25$.

$$K_T^{100} = 1,33 \frac{(373 - 343)^{0,25}}{(45 \cdot 10^{-3})^{0,25}} + 2,04 \cdot 10^{-7} \cdot 343^3 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{2,08 \cdot 373}{343} - 1 \right);$$

$$K_T^{100} = 9,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}.$$

Повторяем расчеты K_T для пластины с температурой 50, 150, 200, 300 °С; сводим результаты расчета в табл. 6.

Таблица 6

Коэффициент теплоотдачи пластины
при различных температурах пластины

T пластины, °С	50	100	150	200	300
K_T , Вт/(м ² ·°С)	6	9,3	12,1	17,8	30

Коэффициент теплоотдачи контактирующего элемента при значении $\Delta T = 30$ °С (температура контактного элемента 100 °С, температура воздуха 70 °С).

Размер $l = d = 15 \cdot 10^{-3}$ м.

$$K_T^{100} = 1,33 \frac{(373 - 343)^{0,25}}{(15 \cdot 10^{-3})^{0,25}} + 2,04 \cdot 10^{-7} \cdot 343^3 \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{2,08 \cdot 373}{343} - 1 \right);$$

$$K_T^{100} = 11,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}.$$

Вывод: коэффициент теплопередачи K_T зависит от размеров токопроводящих элементов и перепада температуры. Он возрастает с увеличением температуры и при уменьшении определяющего размера теплоотдающего элемента. И для пружины, и для токопроводной пластины коэффициент теплопередачи имеет приемлемые значения, т.е. конструкции пружины и тоководной пластины рациональны и на данном этапе оптимизации не требуют.

3.11. Общие выводы и рекомендации, полученные на основе анализа результатов электротехнических расчётов

1. Обзор полученных результатов показал, что ни тоководная пластина, ни пружина в СРШП не являются слабым звеном с позиции выдерживания токовых нагрузок в любых возможных ситуациях эксплуатации. Их конструкция и материалы выбраны рационально. Управления этими параметрами для обеспечения рациональных условий шабрения не требуются. Надёжность работы СРШП и электрических рельсовых цепей высока:

- по числу изломов СРШП;
- по числу отказов рельсовых цепей;
- по числу сколов рельсов в местах контакта СРШП;
- по интенсивности образования выработки в шейке стыкуемых рельсов.

2. Контактные элементы – шаберы, выполненные из твёрдого сплава марки ВК-8 и имеющие одну из следующих форм: конус островершинный с радиусом у вершины 0,5 мм; конусный трёхгранник с радиусом у вершины 1 мм; таблеточной формы с размерами, указанными на рис. 13, тоже обеспечивают необходимую электротехническую надёжность.

3. Необходимый уровень надёжности работы электрических рельсовых цепей однозначно достигнут для всех условиях автономной тяги.

Для штатных условий электротяги требующийся уровень надёжности достигнут при применении в рельсовом стыке одного соединителя рельсового шаберно-пружинного при токе до 200 А, при превышении этого тока в стык необходимо монтировать два соединителя. Их конструкция это позволяет.

4. Указанное свидетельствует о том, что на данном этапе разработки и постановки изделия на производство необходимый уровень управления процессом шабрения достигнут через выбор конструкций элементов соединителя рельсового шаберно-пружинного, их материалов. Результатом такого успешного управления является замещение соединителем рельсовым шаберно-пружинным всех других типов соединителей (приварных, дублирующих, штепсельных) практически на всех участках рельсовых цепей.

5. Данное изделие ещё не является надёжным по электротехническим показателям только при действии тока пикового значения 1500 А длительностью более 5 – 10 с. В этом пределе времени работа контактов останется стабильной, не изменится усилие нажатия пружины на контакты, так как нагрев пружины не превысит 200 °С.

6. Действие тока такого пикового значения и длительности маловероятно.

Однако для исключения негативных последствий электротехнического характера и поддержания функциональных возможностей процесса

шабрения даже в условиях действия такого тока и возникновения таких температур нагрева зоны контакта авторами дополнительно рассмотрены два основных направления управления:

а) управление составом материала контакта-шабера с целью повышения его теплопередачи и снижения электросопротивления;

б) управление геометрией контакта-шабера с целью увеличения площади контакта с шейкой рельса.

Так, например, успешно апробировано добавление меди в состав твёрдого сплава марки ВК-8 [10]. Для этого реализована технология, обеспечивающая двухкаркасную структуру материала: медесодержащую структуру – для повышения электротехнических характеристик, карбидовольфрамовую – для шабрения и токопровода. При управлении геометрией успешно апробировано увеличение диаметра контакта-шабера. Особо успешно это оказалось при увеличении радиуса его сферической части до значений, близких к величине радиуса шейки рельса.

7. Необходимо отметить также наличие других направлений управления процессом шабрения. Это, например, применение пористых твёрдых сплавов, нанесение шабрящих элементов в виде отдельных зёрен и конгломератов на выпуклости тоководной пластины, применение соединителей рельсовых шаберно-пружинных с индикаторами температуры или индикаторами высокой температуры, применение закладных (в рельсовый зазор) торцевых соединителей, применение ремонтных соединителей и т.д.

Контрольные вопросы

1. Укажите возможные условия эксплуатации СРШП.
2. Каковы исходные данные для расчётов рельсового соединителя?
3. Проведите расчёт переходного сопротивления в контакте.
4. Проведите расчёт установившейся температуры в зоне контакта.
5. Проведите расчёт установившейся температуры нагрева токопроводящей пластины соединителя.
6. Проведите расчёт уравнения нагрева токопроводящей пластины.
7. Проведите расчёт температуры нагрева пружины.
8. Проведите расчёт коэффициента теплоотдачи с токоведущих элементов соединителя.
9. От чего зависит коэффициент теплопередачи?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе рассмотрен случай работы машиностроительного изделия, когда один из методов лезвийной обработки материалов – процесс шабрения как процесс микрорезания, привнесён в электротехнический контакт. Иными словами, в одном изделии, предельно простом и состоящем всего лишь из трёх деталей, совмещены две принципиально разные функции: одна – передавать электрический ток через электроконтакты и тоководную пластину, вторая – зачищать контактирующие поверхности от ржавчины и продуктов трения с целью поддержания контактных поверхностей в ювенильном состоянии за счёт самоорганизации процесса шабрения. В качестве примера рассмотрено обеспечение надёжности работы электрических рельсовых цепей на сети железных дорог России. В качестве изделия рассмотрен соединитель рельсовый шаберно-пружинный.

Предметом исследования в работе является возможность управления процессом шабрения за счёт конструктивных решений. Под управлением понимается обоснованный выбор материалов и размеров элементов (деталей) изделия. Целью управления является повышение надёжности работы электрических рельсовых цепей. Средством для управления – электротехнические параметры изделия, при которых обеспечиваются и электропроводные свойства изделия во всех условиях его эксплуатации, и минимизация отказов рельсовых электрических цепей при использовании такого соединителя без всяких других соединителей.

2. На основе проведённых электротехнических расчётов как результат управления выбраны материалы и конструктивные решения элементов изделия.

3. Изделие отвечает предъявляемым требованиям, следовательно, цель и средство управления выбраны правильно. Изделие внедрено в эксплуатацию в нескольких вариантах исполнения в количестве более миллиона штук. Экономический эффект от повышения надёжности работы электрических рельсовых цепей (за счёт сокращения окон в движении подвижного состава, необходимых на обнаружение и ремонт отказа или неисправности) составляет более 200 млн р. в год. Дополнительный экономический эффект около 140 млн р. в год состоит в том, что отпадает потребность в монтаже в рельсовый стык других типов соединителей.

4. Разработаны направления управления повышением надёжности работы электрических рельсовых цепей за счёт: применения для неординарных условий эксплуатации изделий специальных материалов электрических контактов-шаберов, оптимизации их размеров и геометрии, установки соединителя в рельсовый зазор, где изменяются токовые нагрузки и режим шабрения, установки временных соединителей у торцов рельсовых накладок, снабжения изделий индикаторами избыточной температуры и т.д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 33126 Российская Федерация, МПК⁷ E 01 В 11/00. Соединитель рельсовый шаберно-пружинный / Фадеев В. С., Каменев А. И., Мокрицкий Б. Я. ; заявители и патентообладатели Фадеев В. С., Каменев А. И., Мокрицкий Б. Я. – № 2003121155/20 ; заявл. 17.07.03 ; опубл. 10.10.03. Бюл. № 28. – 3 с.
2. Пат. 72483 Российская Федерация, МПК⁷ E 01 В 11/54, В 60 М 5/00. Соединитель рельсовый шаберно-пружинный / Фадеев В. С., Мокрицкий Б. Я. ; заявители и патентообладатели Фадеев В. С., Мокрицкий Б. Я. – № 2008100449/22 ; заявл. 09.01.08 ; опубл. 20.04.08. Бюл. № 11. – 3 с.
3. Пат. 51369 Российская Федерация, МПК⁷ В 60 М 5/00, E 01 В 11/54. Соединитель рельсовый со средством контроля его наличия, целостности и температуры / Мокрицкий Б. Я., Фадеев В. С., Каменев А. И. ; заявители и патентообладатели Мокрицкий Б. Я., Фадеев В. С., Каменев А. И. – № 2005125071/22 ; заявл. 08.08.05 ; опубл. 10.02.06. Бюл. № 11. – 3 с.
4. Пат. 46719 Российская Федерация, МПК⁷ В 60 М 5/00, E 01 В 11/54. Соединитель рельсовый ремонтный / Мокрицкий Б. Я., Фадеев В. С., Каменев А. И. ; заявители и патентообладатели Мокрицкий Б. Я., Фадеев В. С., Каменев А. И. – № 2005107584/22 ; заявл. 21.03.05 ; опубл. 27.07.05. Бюл. № 21. – 3 с.
5. Пат. 127756 Российская Федерация, МПК⁷ E 01 В11/00. Торцевой соединитель рельсовый шаберный / Мокрицкий Б. Я., Савинковский М. В., Сомин В. И. ; заявитель и патентообладатель Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т. – № 2012118902/11 ; заявл. 05.05.12 ; опубл. 27.12.12. Бюл. № 13. – 3 с.
6. Электротехнический справочник. В 3 т. Т. 2. Электротехнические устройства / под общ. ред. проф. МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского [и др.]. – М. : Энергоиздат, 1981. – 640 с.
7. Чунихин, А. А. Электрические аппараты: Общий курс : учебник для вузов / А. А. Чунихин. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
8. Рыськова, З. А. Трансформаторы для электрической контактной сварки / З. А. Рыськова, П. Д. Федоров. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 424 с.
9. Буткевич, Г. В. Задачник по электрическим аппаратам : учеб. пособие для вузов / Г. В. Буткевич, А. Г. Сливинская. – М. : Высш. шк., 1987. – 232 с.
10. Пронин, А. И. Особенности применения сверхтвёрдых материалов и режущей керамики при токарной обработке труднообрабатываемых материалов / А. И. Пронин, Б. Я. Мокрицкий, С. В. Виноградов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2010. – № II-1(2). – С. 88-92.

Нормативные документы

11. ГОСТ Р 51685-2000. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. – Введ. 2010-11-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 23 с.
12. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введ. 1971-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 57 с.
13. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. – Введ. 2003-09-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 27 с.
14. ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – Введ. 1978-01-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 11 с.
15. ГОСТ 14254-96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP). – Введ. 1997-01-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 32 с.
16. ОСТ 32.181-2001. Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок заказа, разработки, постановки на производство, проведения испытаний и утилизации железнодорожной техники. – Введ. 2001-01-01. – М. : МПС России, 2001. – 59 с.
17. ГОСТ 14192-96. Маркировка грузов. – Введ. 1998-01-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 30 с.
18. ГОСТ 23216-78. Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний. – Введ. 1979-07-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 43 с.
19. ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов. – Введ. 2014-06-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 15 с.
20. ГОСТ 2.114-95. Единая система конструкторской документации. Технические условия. – Введ. 1996-07-01. – М. : Стандартинформ, 2008. – 13 с.
21. ОСТ 32.146-2000. Аппаратура железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Общие технические условия. – Введ. 2000-09-30. – М. : МПС России, 2000. – 161 с.

Учебное издание

**Мокрицкий Борис Яковлевич
Алтухова Виктория Викторовна
Пустовалов Дмитрий Александрович**

**УПРАВЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ИЗДЕЛИЯ,
РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ПРОЦЕССА МИКРОШАБРЕНИЯ**

Учебное пособие

Под общей редакцией Б. Я. Мокрицкого

Редактор С. Д. Выстороп

Подписано в печать 27.10.2014.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага 65 г/м². Ризограф EZ570E.
Усл. печ. л. 3,96. Уч.-изд. л. 3,66. Тираж 300 экз. Заказ 26547.

Редакционно-издательский отдел
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Полиграфическая лаборатория
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.