

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

На правах рукописи



Микава Александр Ваноевич

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
СКОРОСТНЫХ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК
НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

Специальность 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Ковалев Алексей Анатольевич

Екатеринбург – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| Глава 1 Анализ эксплуатационной надежности контактной сети Российских железных дорог..... | 10 |
| 1.1 Анализ отказов на участках контактной сети со скоростью движения поездов до 160 км/ч..... | 10 |
| 1.2 Анализ отказов на участках контактной сети со скоростью движения поездов более 160 км/ч..... | 17 |
| 1.3 Анализ существующих способов реализации проектов при строительстве скоростных и высокоскоростных участков контактной сети на этапах жизненного цикла | 24 |
| 1.4 Обзор и анализ существующих технологий установки поддерживающих конструкций контактной подвески..... | 30 |
| Выводы по первой главе..... | 36 |
| Глава 2 Разработка математической модели для определения статических параметров контактной подвески и продолжительности ее жизненного цикла..... | 38 |
| 2.1 Оценка риска задержки подвижного состава по причине разрегулировки контактной подвески..... | 39 |
| 2.2 Расчет жизненного цикла контактной подвески..... | 45 |
| 2.3 Разработка математической модели для определения продолжительности межрегулируемого интервала консолей контактной сети..... | 52 |
| 2.4 Разработка математической модели для определения статических параметров контактной подвески на протяжении жизненного цикла..... | 58 |
| Выводы по второй главе..... | 81 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Глава 3 Экспериментальные исследования технологии установки консолей для обеспечения требуемых статических параметров контактной подвески..... | 83 |
| 3.1 Разработка методики экспериментального определения статических параметров контактной подвески..... | 83 |
| 3.2 Испытание разработанной технологии установки консолей..... | 87 |
| 3.3 Оценка точности результатов измерений при проведении эксперимента | 90 |
| Выводы по третьей главе..... | 98 |
| Глава 4 Техничко-экономическое обоснование внедрения технологии установки консолей контактной сети..... | 99 |
| 4.1 Расчет экономического эффекта от внедрения разработанной технологии установки консолей..... | 99 |
| 4.2 Определение стоимости жизненного цикла консоли..... | 103 |
| 4.3 Разработка программного продукта для расчета стоимости жизненного цикла устройств контактной сети | 110 |
| Выводы по четвертой главе..... | 117 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 119 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 121 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А Результаты измерений расстояний от уровня головки рельса до нижней точки крепления консоли к опоре контактной сети..... | 131 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б Технологическая карта «Армирование установленной консольной опоры»..... | 140 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В Патент на изобретение..... | 147 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г Акты о внедрении результатов научно-исследовательской работы..... | 150 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ..... | 153 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Е Акт о внедрении программы для ЭВМ..... 155

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Стратегия развития компании ОАО «Российские железные дороги» до 2030 года включает в себя реализацию мероприятий по созданию и обеспечению скоростных и высокоскоростных магистралей. Увеличение скоростей движения – один из основных путей решения проблемы пропускной и провозной способности железных дорог. Главным условием повышения скоростей движения является качественный токосъем в момент взаимодействия токоприемника и контактного провода, а также постоянство эластичности контактной подвески, при условии обеспечения проектных значений статических параметров контактной подвески в период ее эксплуатации. Для этого требуется соблюдать необходимые геометрические размеры и положение поддерживающих конструкций и проводов контактной сети на следующих этапах жизненного цикла: проектирование, монтаж и эксплуатация. Несоблюдение требований негативно сказывается на качестве токосъема: происходит разрегулировка контактной подвески, усиливается износ контактного провода, возрастают эксплуатационные расходы на обслуживание и дальнейшее содержание контактной сети, поэтому вопросы обеспечения рациональных статических параметров контактной подвески на основных этапах ее жизненного цикла являются актуальными.

Объект исследования: контактная сеть.

Область исследования: системы контактных подвесок и токоприемников, устройства и материалы, снижающие износ контактного провода и обеспечивающие повышение скоростей движения.

Степень разработанности темы исследования. Теоретико-методологическую основу исследования обеспечения стабильности статических параметров контактной подвески составляют работы ученых и специалистов, таких как К.Х. Бауэр, И.А. Беляев, В.А. Вологин, А.Г. Галкин, А.И. Гуков, Е.М. Дербилов, А.В. Ефимов, В.В. Журкин, В.А. Иванов, Ф. Кислинг,

Е.В. Кудряшов, В.Е. Кудряшов, А.Ф. Лаврентьев, В.Н. Ли, К.Г. Марквардт, В.П. Михеев, В.В. Мунькин, Э.В. Селектор, О.А. Сидоров, А.В. Фрайфельд, А.Ю. Харитонов, А.П. Чучев, А. Шмидер, практическую значимость – А.С. Голубков, В.А. Иванов, Е.В. Кудряшов, А.А. Ковалев, А.Н. Смердин, В.В. Томилов и другие. Труды ученых направлены на исследование процесса взаимодействия токоприемника с контактным проводом непосредственно на этапе эксплуатации, но при этом не рассмотрены факторы, влияющие на создание рациональных статических параметров контактной подвески на стадии выбора типов устройств и их последующей установки в соответствии с нормативно-технической документацией.

Цель работы: обеспечение требуемых статических параметров контактной подвески при высоких скоростях движения электроподвижного состава на этапах жизненного цикла.

Задачи исследования:

- проанализировать технологии установки поддерживающих конструкций в проектное положение и на основании этого дать классификацию консолей по скоростным режимам;
- разработать математическую модель определения статических параметров контактной подвески на этапе ее эксплуатации;
- разработать математическую модель определения длительности межрегулируемого интервала консоли контактной сети;
- разработать технологию установки консолей в проектное положение для скоростных и высокоскоростных контактных подвесок и провести экспериментальные исследования в условиях эксплуатации для оценки эффективности от применения данной разработки;
- рассчитать экономический эффект от применения разработанной технологии.

Научная новизна работы состоит в следующем:

– предложена классификация консолей по скоростному режиму, которая обосновывает выбор разновидности консолей для участков контактной сети с различными скоростями движения подвижного состава на этапе проектирования;

– разработана математическая модель расчета статических параметров контактной подвески, позволяющая определить период времени, в который эти параметры выходят за рамки допустимых норм, и необходимость вертикальной регулировки контактной подвески;

– разработана математическая модель определения продолжительности межрегулируемого интервала консолей с учетом влияния точности установки в проектное положение;

– разработана методика экспериментального определения статических параметров контактной подвески.

Практическая значимость работы:

– разработанная технология установки консоли на опору контактной сети позволяет увеличить длительность межрегулируемого интервала консоли в полтора раза, при этом статические параметры контактной подвески соответствуют нормам, которые утверждены в проектной документации;

– разработанный программный продукт позволяет рассчитать показатели экономической эффективности (лимитную цену, стоимость жизненного цикла, полезный экономический эффект) контактной подвески для принятия решения о целесообразности увеличения срока ее жизненного цикла.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследования являлись теория надежности и вероятностей. Для решения поставленных задач использовалось математическое моделирование с применением программных продуктов на ЭВМ. Обработка экспериментальных данных осуществлялась при помощи математической статистики.

На защиту выносятся:

– классификация консолей по скоростному режиму, позволяющая обосновывать выбор разновидности консолей для участков контактной сети с различными скоростями движения подвижного состава на этапе проектирования;

– математическая модель расчета статических параметров контактной подвески, позволяющая определить период времени, в который эти параметры выходят за рамки допустимых норм, и необходимость вертикальной регулировки контактной подвески;

– математическая модель определения продолжительности межрегулируемого интервала консолей с учетом влияния точности установки в проектное положение;

– методика экспериментального определения статических параметров контактной подвески с требуемой точностью.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается сходимостью теоретических и практических исследований, а также адекватностью применяемых методов целям и задачам исследования, проверкой результатов с помощью математических методов их обработки.

Основные положения и результаты исследования докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях различного уровня: конференция «Молодые ученые транспорту» (УрГУПС, Екатеринбург, 2012, 2013, 2014); международная научно-техническая конференция «Транспорт XXI века: исследования, инновации, инфраструктура» (УрГУПС, Екатеринбург, 2011); молодежная межрегиональная научно-практическая конференция «Энергетика, электропривод, энергосбережение и экономика предприятий, организаций, учреждений», (РГППУ, Екатеринбург, 2013, 2014, 2015); международная научно-практическая конференция «Инновационные факторы развития Транссиба на современном этапе», (Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, 2012); научно-технический совет ОАО «РЖД» (Екатеринбург, 2013); расширенное заседание кафедры «Электроснабжение транспорта» (УрГУПС, Екатеринбург, 2015, 2016); заседание кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС, Омск, 2016).

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты практических и теоретических исследований применены в филиалах ОАО «Российские железные

дороги» при проведении монтажных работ на контактной подвеске. Получены акты о внедрении.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 5 статей из перечня, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науке РФ, из которых автору принадлежит 3,17 печатных листа. Новизна подтверждается наличием патента на изобретение и свидетельства о регистрации программного продукта для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и шести приложений. Содержание изложено на 156 машинописных страницах и включает в себя 22 таблицы и 33 рисунка, библиографический список содержит 97 наименований.

1 АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ РОССИЙСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

1.1 Анализ отказов на участках контактной сети со скоростью движения поездов до 160 км/ч

Несоответствие основных статических параметров контактной подвески (высота контактного провода от уровня головки рельса и разница высот контактного провода от уровня головки рельса в опорных узлах на смежных опорах), утвержденных нормативно-технической документацией, приводит к преждевременным отказам устройств контактной сети. Для определения причины задержки поездов необходимо более детально изучить, какие конкретно устройства на контактной сети Российских железных дорог по статистике чаще выходят из строя.

Рассмотрим характерный для Свердловской железной дороги пример. В октябре 2014 было зафиксировано отключение быстродействующего выключателя фидера № 6 (далее БВ Ф6 – 3,3 кВ) одной из тяговых подстанций в результате короткого замыкания, возникшего по причине излома второго и четвертого по ходу движения токоприемников на локомотиве 2ВЛ-11 грузового поезда на четном пути перегона. Причиной повреждения токоприемников на электровозе поезда явилось смещение контактной подвески за габариты токоприемников, вызванное разворотом фундаментов опор контактной сети в теле земляного полотна на 45 градусов.

Характеристика контактной сети: подвеска компенсированная, усиливающий провод 2М-120, несущий трос М-120, контактный провод 2НлОл-100, заземление опор контактной сети выполнено индивидуально через газоразрядный прибор защиты (ГРПЗ). Повреждение допущено на анкерном участке длиной 1237 м во внутренней кривой радиусом 480 метров на отдельных

металлических опорах контактной сети марки МС-120-80, которые были установлены в скальном грунте с габаритом 5100 мм от оси пути на специальные фундаменты марки ФСТ-426-4.0-3Э. Фундаменты были установлены в августе 2014 года в котлованы, разработанные с применением котлованокопателя УКБС, при диаметре фундамента 426 мм.

Для фиксации контактной подвески, при габарите опор контактной сети 5100 мм от оси пути, в августе 2014 года на металлические опоры контактной сети были установлены консоли с применением консольных промежуточных удлинителей УП-1 длиной 1200 мм с дальнейшим переводом нагрузки проводов контактной сети. Консоль с консольным промежуточным удлинителем УП-1 была соединена шарнирным способом, а сам консольный промежуточный удлинитель УП-1 жестко зафиксирован к телу опоры контактной сети.

После демонтажа в октябре 2014 года поддерживающих конструкций, фиксирующих контактную подвеску, со старых опор контактной сети, стоящих вблизи новых опор, возникла дополнительная нагрузка (старый несущий трос М-120 и вновь раскатанный усиливающий провод 2М-120) на новые опоры при малом радиусе кривой 480 м.

В результате перемещения проводов компенсированной цепной подвески при температурных изменениях произошло смещение консоли в месте крепления несущего троса и контактного провода, при этом возникло давление консоли под углом на консольный промежуточный удлинитель УП-1 (то есть создавался рычаг поворота).

В ходе расследования было установлено, что причинами разворота опор послужили:

- возникновение дополнительной нагрузки (старый несущий трос М-120 и вновь раскатанный усиливающий провод 2М-120) на новые опоры при малом радиусе кривой 480 м через консоль на консольный промежуточный удлинитель УП-1;

- некачественное закрепление фундаментов металлических опор работниками подрядной организации в теле земляного полотна;

– не проведение повторной досыпки, трамбовки грунта и обваловки фундаментов металлических опор работниками подрядной организации до перевода нагрузки на вновь установленные опоры, обязательной согласно [65];

– некачественное закрепление промежуточного удлинителя УП-1 с консолью типа «АИОп70/80 - 2-1.А» на теле металлических опор работниками подрядной организации.

В случае точного монтажа консоли в проектное положение, отказа могло и не быть, так как на изгибающий момент опоры контактной сети влияет плечо силы, возникающей от крепления консоли.

Рассмотрим статистику отказов за 2011 – 2015 годы на примере разветвленной сети железных дорог, приведенную в [81–85].

Количество событий, связанных с неудовлетворительной работой контактной сети, снижено на 8,2 % с 158 случаев в 2012 году до 145 случаев в 2014 году. Вместе с тем в 2013 году из-за несвоевременного оперативного вмешательства дистанций электроснабжения удельная повреждаемость на 100 км развернутой длины контактной сети уменьшилась и составила 0,71 случай, что на 13,4 % ниже уровня 2012 года (0,82).

Количество нарушений нормальной работы контактной сети и динамика ее изменений за последние шесть лет приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Количество отказов на контактной сети

| Наименование рассматриваемого параметра | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. |
|--------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Количество отказов по вине хозяйства электроснабжения | 645 | 761 | 911 | 981 | 846 |
| Количество событий в работе хозяйства электроснабжения | 194 | 166 | 161 | 158 | 145 |

Основные причины отказов устройств контактной сети и их доля в % приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Причины возникновения отказов устройств контактной сети

| Основные причины | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Недостатки эксплуатации, в т. ч. по вине монтажных организаций, % | 55,0 15,0 | 53,1 21,0 | 47,3 22,9 | 47,0 21,3 | 48,6 20,7 |
| Износ устройств, % | 12,1 | 13,1 | 12,3 | 13,6 | 12,4 |
| По вине посторонних пред- метов, механизмов, % | 6,2 | 4,2 | 6,3 | 7,1 | 7,9 |
| Влияние метеоусловий, % | 7,9 | 6,0 | 8,1 | 7,7 | 7,4 |
| Прочие, % | 3,8 | 2,6 | 3,1 | 3,3 | 3,0 |

Из общего числа повреждений устройств контактной сети 35 % приходится на участки постоянного тока, на участки переменного тока – 65 %.

На основании проведенного статистического анализа отказов на контактной сети за 2015 год по всем филиалам ОАО «РЖД» составлена диаграмма (рисунок 1.1).

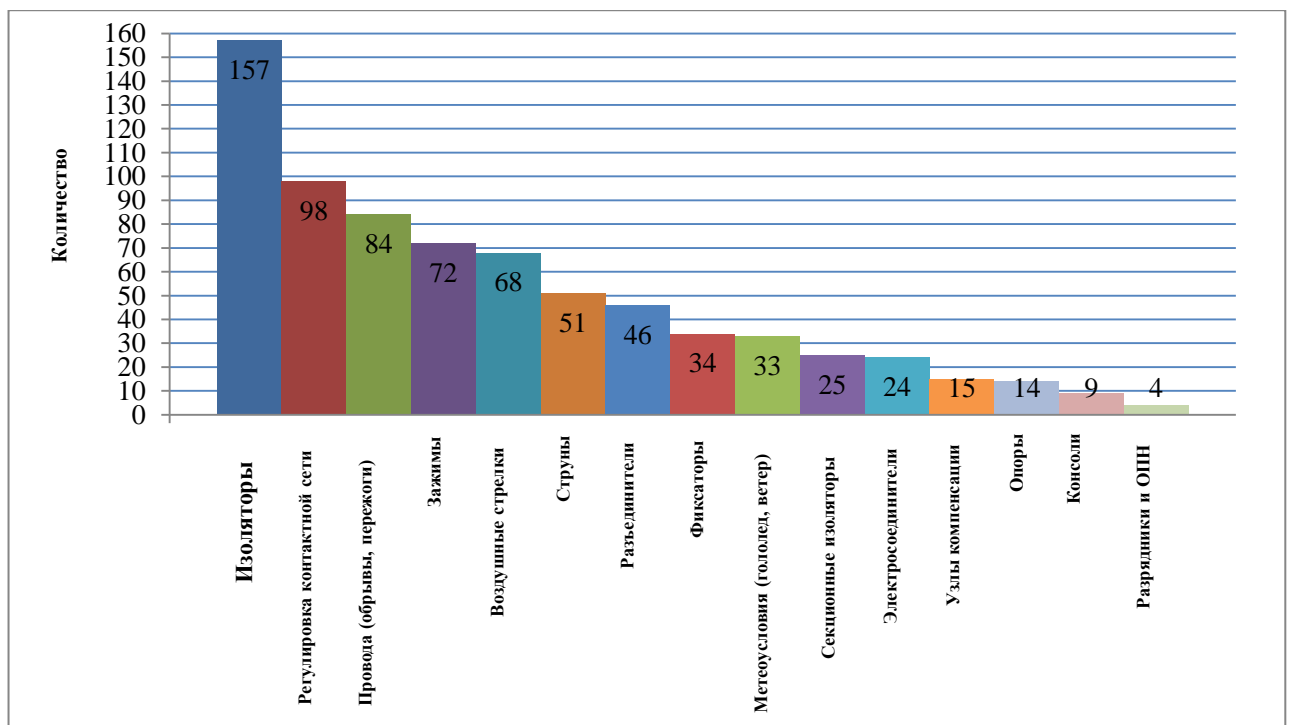


Рисунок 1.1 – Статистический анализ причин отказов контактной сети в 2015 году

Из приведенной выше диаграммы следует, что основными причинами отказов контактной сети в 2015 году явились: перекрытие и разрушение изоляторов

(21 %), неудовлетворительная регулировка контактной подвески (13 %), обрывы и пережоги проводов и тросов (11 %), разрушение зажимов (10 %), разрегулировка воздушных стрелок (9 %), обрывы поддерживающих струн (7 %).

Рассмотрим более детально каждую причину отказа. Количество отказов по причине перекрытия и разрушения изоляторов в 2015 году составило 157 случаев, из них на участках переменного тока – 79 % отказов. Наибольшее количество повреждений изоляторов на переменном токе допущено на Северо-Кавказской, Дальневосточной, Восточно-Сибирской и Горьковской железных дорогах.

Таким образом, основной причиной повреждений изоляторов является потеря изоляционных свойств подвесных фарфоровых и стеклянных изоляторов, изломы стержневых изоляторов, коррозия пестиков тарельчатых изоляторов на постоянном токе. Для того чтобы повысить надежности контактной сети, необходимо провести более тщательную диагностику фарфоровых тарельчатых изоляторов [31]. Провести работу по замене изоляторов старого типа на новые, например полимерного типа.

В 2015 году произошло 98 случаев отказов контактной сети из-за ее неудовлетворительной регулировки (13 % от общего количества). Наибольшее число отказов зафиксировано на Северо-Кавказской железной дороге – 15 случаев, Забайкальской железной дороге – 11, Московской железной дороге – 10. В порядке реализации корректирующих мер в 2015 году выполнена ревизия и регулировка контактной подвески в объеме 44,2 тысяч километров на главных путях перегонов и станций, проведена верховая диагностика 42,9 тысяч километров контактной подвески на главных путях.

Причиной неудовлетворительного состояния контактной подвески является недостаточно полная и правильная с технической точки зрения диагностика. На статические параметры контактной подвески (высота контактного провода от уровня головки рельса (УГР) и разница высот контактного провода от УГР на смежных опорах в опорных узлах) влияют отсутствие новых методик по совершенствованию технического обслуживания и ошибки, допущенные при проведении работ по установке опорных и поддерживающих конструкций.

Одной из главных причин нарушения стабильной работы устройств и элементов контактной сети в 2014 году продолжали оставаться обрывы и пережоги проводов – 84 случая (11 % от общего количества). Среди них на Куйбышевской железной дороге – 12 случаев, Свердловской железной дороге – 11, Московской и Северо-Кавказской железных дорогах – по 10. Из общего количества обрывов и пережогов проводов контактной сети на контактные провода приходится 59 % случаев, несущие тросы – 28 %, усиливающие провода – 13 %.

Пережоги, и как следствие обрывы контактных проводов, происходят из-за некачественного токосъема. Отрыв токоприемника от контактного провода и потеря контакта происходят довольно часто, что приводит к появлению электрической дуги и перегреву контактного провода. Проведение монтажных работ, в соответствии с утвержденной проектной документацией, позволяет уменьшить количество отказов контактного провода. Контроль контактного провода ультразвуком [96] позволяет вовремя диагностировать и предупредить дальнейшее развитие неисправного состояния.

Исследования работы арматуры контактной сети в 2014 году выявили 72 случая отказа контактной сети из-за разрушения зажимов (10 % от общего количества). Наиболее часто повреждаемыми продолжают оставаться зажимы КС-049 – 24 случая (33 % от общего количества повреждений зажимов) и КС-046 – 16 случаев (22 %). Выход из строя зажимов является следствием неправильной установки в проектное положение поддерживающих конструкций (консолей контактной сети), что приводит к последующей разрегулировке контактной подвески. Наибольшее количество случаев допущено на Забайкальской и Горьковской железных дорогах. По зажимам типа КС-321 в течение года было зафиксировано три случая отказа, все повреждения произошли из-за нарушения технологии при их установке на контактном проводе. В [95] предложена методика неразрушающего контроля зажимов.

Одним из малонадежных узлов контактной сети продолжают оставаться воздушные стрелки [32, 44]. В 2014 году из 68 случаев отказов на воздушных стрелках в 57 (83 %) — воздушные стрелки не были оборудованы устройством

одновременного подъема проводов. Данный факт доказывает, что установка устройств, предназначенных для одновременного подъема контактных проводов, должна проводиться на воздушных стрелках с пересечением как одиночных, так и двойных контактных проводов, которые примыкают к главным путям.

По состоянию на 01 января 2014 года 40,5 тыс. опор имеют недопустимый наклон и их количество увеличилось на 22,9 %. Точный контроль углов наклона опор контактной сети позволит принять своевременное управляющее воздействие, для того чтобы предотвратить последующий отказ опоры и предупредить нарушение габарита подвижного состава. Так, в Уральском государственном университете путей сообщения был разработан прибор для более совершенного измерения и последующего контроля углов наклона опор контактной сети. В [33] приведены возможные варианты обеспечения устойчивости опорных конструкций контактной сети в грунте.

Добиться того чтобы приведенные выше отказы не повторялись или по крайней мере их количество было минимальным, необходимо усовершенствовать имеющиеся методы технического обслуживания и диагностики контактной сети [34].

Точная установка элементов контактной сети в соответствии с проектом уменьшает риск возникновения отказов как отдельных устройств контактной сети, так и всей системы в целом. Для этого необходимо усовершенствовать действующие технологические карты на проведение монтажных работ контактной сети [75].

В результате проведенного статистического анализа эксплуатационной надежности устройств контактной сети установлено, что наибольшее количество отказов первой категории вызваны разрегулировкой поддерживающих и опорных конструкций.

1.2 Анализ отказов на участках контактной сети со скоростью движения поездов более 160 км/ч

На сегодняшний день в России имеется железнодорожная магистраль — Москва – Санкт-Петербург, на которой скорость движения подвижного состава может составлять свыше 160 км/ч. Для обеспечения требуемых статических параметров контактной подвески КС-200 была разработана проектная документация, в соответствии с климатическими условиями региона.

Анализ состояния контактной подвески и количества отказов на участке Москва – Санкт-Петербург показал, что на большинстве анкерных участков контактные провода оказались расположенными с отрицательными стрелами провеса (при разных температурах окружающего воздуха), хотя проектное положение проводов – беспровесное, при этом на одних участках стрелы провеса оказались одинаковыми в каждом пролете, а на других – разными [40]. Из этого следует, что существует вероятность отрыва полоза токоприемника от контактного провода. Таким образом, возникает необходимость монтажа контактных проводов с положительными стрелами провеса, равными 30–50 мм. Неправильное положение контактных проводов возникает из-за несоответствия расчетному значению натяжения несущего троса в пролетах. Причиной этого может являться некорректная работа компенсирующих устройств. Также неправильное натяжение несущего троса в разных пролетах появляется из-за недостаточной подвижности консолей. Этот факт и подтверждается обнаружением различных стрел провеса. Для предотвращения вышеуказанной проблемы необходимо устранить конструктивные недостатки поддерживающих устройств. Фактическое положение консолей должно соответствовать проектному с нормируемой точностью.

Для того чтобы обеспечить рациональные параметры контактной подвески при движении подвижного состава со скоростью более 200 км/ч, потребуется применить струны с регулятором длины [38, 42]. Данный регулятор крепится в

средней части струны и обеспечивает изменение ее длины в диапазоне ± 30 мм. Данная мера повлечет за собой увеличение капитальных и эксплуатационных затрат, а также времени на монтаж и дополнительную регулировку, но при этом позволит гарантировать надежный токосъем.

Одной из основных характеристик, определяющих способность контактной подвески обеспечивать надежный токосъем, особенно при повышенных скоростях движения, является стабильность ее эластичности [41, 43], которая оценивается коэффициентом неравномерности эластичности контактной подвески, представляющим отношение максимального и минимального значений эластичности в пролете. Как указано в [22], значение коэффициента неравномерности эластичности должно составлять максимум 1.196, что соответствует европейским нормам [67, 86]. Периодические результаты измерений дорожной электротехнической лаборатории Октябрьской железной дороги показывают, что эластичность дополнительно отрегулированной контактной сети в нескольких пролетах участка Москва – Санкт-Петербург далека от стабильной. Коэффициент неравномерности не соответствует заявленному значению и находится в пределах 1,35–1,45. Такое неравенство эластичности подвески в различных частях пролета негативно влияет на траекторию полоза движущегося токоприемника и характер изменения нажатия в контакте токоприемник – провод. Оценивая результаты измерений эластичности КС-200, можно сказать, что применение рессорных проводов является недостаточно эффективной мерой для обеспечения стабильности эластичности при принятых натяжениях несущего троса и длинах пролетов. Конечно, для повышения стабильности эластичности при дальнейшей реконструкции можно пойти на уменьшение длины пролетов и применение несущих тросов, допускающих большие удельные натяжения, но это экономически нецелесообразно. Увеличение допустимого натяжения несущего троса возможно лишь с применением проводов большего сечения (150 кв. мм), но в России не освоено производство арматуры для несущих тросов данного сечения. Также необходима разработка новой консольной арматуры для соответствующих прочностных характеристик, что приведет к существенному повышению стоимости реализации проектов.

Надежность узлов и деталей контактной сети – один из ключевых моментов при создании проектной документации для КС-200 и КС-250. При этом срок службы всех устройств за исключением контактных проводов и изоляторов должен составлять не менее 50 лет [35]. Положение проводов подвески и установка консолей зависят от температуры внешней среды. В Российской Федерации она может варьироваться в широком диапазоне в зависимости от климатического района [36].

Принимая во внимание технические требования при создании скоростных магистралей, в России разработана и утверждена проектная документация [37] и [6], которая в основном заключается в следующем:

- контактная подвеска должна быть одинарной, вертикальной, компенсированной, рессорной с двумя контактными проводами;
- допустимое отклонение от проектного значения при установке несущего троса по высоте не должно превышать ± 10 мм;
- допустимое отклонение от проектного значения при установке контактного провода по высоте не должно превышать ± 10 мм;
- конструктивная высота подвески — $1800 \text{ мм} \pm 10 \text{ мм}$;
- консоли – горизонтальные;
- натяжение несущего троса — (Бр-120) 2000 даН;
- натяжение контактных проводов — (2Брф-120) 2×2400 даН;
- струны — мерные, токопроводящие, изготовлены заранее для каждой конкретной точки контактной подвески, их длина рассчитывается на компьютере по специальной программе для заданных натяжений несущего и рессорного тросов и величины пролета;
- коэффициент неравномерности эластичности контактной подвески — не более 1,196;
- максимальная длина анкерного участка составляет 1400 м;
- максимальная длина пролета — 65 м.

После проведения монтажных и регулировочных работ консолей потребуются выполнить точные измерения фактического расстояния от уровня головки

рельса (УГР) до оси несущего троса в месте крепления в поворотном зажиме. Точность при замере высоты несущего троса относительно уровня головки рельса должна быть ± 1 мм. В том случае, если нет возможности проведения указанных мероприятий, консоли необходимо выставить в проектное положение с точностью ± 5 мм относительно высоты несущего троса [37]. На основании [65] отклонение консольных хомутов от проектного положения допускается не должно превышать ± 5 мм. Данные требования достигаются за счет установки консоли на опоре в требуемой точке.

Известные на сегодняшний день способы монтажа горизонтальных консолей не позволяют провести точные измерения расстояния от УГР до точки крепления консоли на опоре, и соответственно установить поддерживающие устройства в нужном месте, а значит отклонение положения несущего троса по вертикали может не укладываться в допуски (± 100 мм) и предстоит последующая высокоточная регулировка всей контактной подвески как единой системы.

Следует также отметить, что на сегодняшний день в России известны требования лишь для скоростей движения до 250 км/ч, таким образом, предельные отклонения для скоростей свыше 250 км/ч будут заимствованы из зарубежной нормативной документации, что в свою очередь ужесточает требования по установке консолей в проектное положение [30, 39]. Поэтому необходимо разработать новую технологию для точной установки поддерживающих конструкций контактной сети в проектное положение. Данная мера позволит отказаться от последующей дополнительной регулировки несущего троса и контактных проводов по высоте. Тем самым появляется возможность сократить время на монтаж контактной подвески и уменьшить стоимость ее жизненного цикла.

Из публикаций [2, 5, 11] следует, что строительство скоростных и высокоскоростных магистралей в России имеет свою специфику, поэтому напрямую перенести западный опыт и все положения международных норм не представляется возможным. Прежде всего, необходимо учитывать особые климатические условия. Опоры и соответственно контактная подвеска с поддерживающими устрой-

ствами с течением времени подвержены разрегулировкам и отклонениям от проектной нормы ввиду промерзания или оттаивания грунта [9, 10].

Из публикации [12, 29] известно, что выбор параметров узлов контактной сети целесообразно производить при помощи комплексного математического моделирования с применением высокопроизводительных электронно-вычислительных машин. Моделирование токораспределения и нагрева элементов контактной сети помогает определить оптимальный диаметр сечения контактных проводов и месторасположения электрических соединителей. Статические конечно-элементные модели контактной подвески позволяют выбрать рациональные параметры элементов, которые обеспечивают должную эластичность. Для надежной эксплуатации контактной подвески при различных условиях работы приемлемо заранее смоделировать процесс поведения контактной подвески под воздействием внешних факторов [13].

Моделирование процесса взаимодействия токоприемника и контактных проводов выполняется для определения диапазона собственных частот, а также пиковых скоростей движения [28]. Имитационное моделирование процесса взаимодействия токоприемников и контактной подвески в динамике дает возможность исследовать влияние параметров данных систем на качество токосъема, которое оценивается на основе анализа изменения силы контактного нажатия в различных точках [14].

С увеличением скоростей движения поездов отрывы токоприемника от контактного провода учащаются [7, 8]. Потеря контакта при малой продолжительности времени (миллисекунды) вызывает искрение и местный перегрев контактного провода, что в свою очередь приводит к отжигу меди с изменением формы контактного провода и как следствие ускоряет его износ [23]. Для того чтобы заранее предотвратить потерю контакта, нужно провести предварительное моделирование процесса взаимодействия токоприемника с контактным проводом при той или иной скорости [16]. Определяющими критериями качества токосъема являются: поддержание стабильного контакта во всех точках контактного провода с токоприемником, а также отжатие контактного провода [15].

Контактная подвеска – это упругая система, в которой контактный провод смещается вверх под воздействием направленного по вертикали нажатия взаимодействующего с ним токоприемника [17]. Величина отжатия зависит от усилия при нажатии токоприемника и эластичности контактной подвески [17]. При движении подвижного состава со скоростью до 160 км/ч контактный провод отжимается на высоту 20–40 мм, при более высокой скорости движения отжатие увеличивается из-за возникновения динамических факторов [17]. Спрогнозировать предельное значение величины отжатия контактного провода, например, при скорости 350 – 400 км/ч, невозможно. В этом случае также необходимо прибегнуть к комплексному моделированию процесса взаимодействия устройств токосъема. Модель динамического взаимодействия токоприемников и контактной подвески дает возможность оценить как эти системы, контактируя друг с другом, влияют на качество токосъема. Динамическая модель описана в публикации [18], математическое моделирование основывается на предложенных в [19] теоретических положениях, которые соответствуют требованиям стандарта изложенного в [87]. Разработанная гибридная квазидинамическая модель учитывает любой конструктив подвески: цепную, простую, сложную с конечным числом струн, а также различные конструкции опорного узла и токоприемников. Для анкерного участка протяженностью 1600 м расчет показателей качества токосъема составляет от одной до двух минут [27]. Сравнение результатов расчетов с помощью данной модели и натурных испытаний подтверждает возможность ее использования для моделирования процесса взаимодействия контактных проводов с токоприемниками [20]. Разработанные в Уральском государственном университете путей сообщения модели также позволяют рассчитывать нагрузки, действующие на провода, опорные и поддерживающие конструкции в условиях сурового климата, что является немаловажным при адаптации иностранных высокоскоростных подвесок.

В свою очередь в Омском государственном университете путей сообщения разработана модернизированная конечно-элементная модель контактной подвески [21]. С ее помощью появляется возможность исследовать волновые процессы,

возникающие при токосъеме. На основе данной модели предложен метод расчета оптимальных параметров для контактных подвесок.

Основные статические параметры скоростной и высокоскоростной контактной подвески, влияющие на качество токосъема [24]:

- расстояние между контактным проводом и уровнем головки рельса;
- разница высот контактного провода от уровня головки рельса на смежных опорных узлах.

Основные физические параметры скоростных и высокоскоростных подвесок: скорость распространения волны, частоты собственных и вынужденных колебаний, коэффициенты усиления, отражения и коэффициент Доплера [22]. Моделирование рациональных параметров подвески позволит снизить материальные ресурсы на испытания, которые предварительно необходимо проводить на полигонах.

На стадии проектирования скоростных и высокоскоростных контактных подвесок имеется несколько вариаций при сочетании их параметров, пригодных для реализации. В связи с этим разработана методика для анализа влияния статических параметров контактной подвески на качество токосъема, которые позволяют выбирать рациональные значения этих параметров – сложная задача [21].

Для оценки динамических характеристик устройств токосъема при высоких скоростях движения в Омском государственном университете путей сообщения предложена система цифрового видеоизмерения перемещений и наклонов токоприемников электроподвижного состава в трех плоскостях, основанная на использовании ряда оптических устройств [25]. Один видеорегистратор фиксирует изменение положения элементов токоприемника в плоскостях, которые расположены параллельно полозу контактной поверхности, второй — определяет проекции перемещений полоза и системы подвижных рам на плоскость, перпендикулярную его оптической оси, благодаря чему становится возможным получить реальное представление о перемещении узлов токоприемника в процессе токосъема. Ряд статических, динамических и физических параметров контактной подвески напрямую связанных с токосъемом в значительной степени зависят от век-

тора реакции токоприемника и отклонений оси токоприемника от вертикали. Наклон полоза в продольной и поперечной плоскостях, вызванный неравномерностью аэродинамического воздействия, силами трения, несинхронной работой кареток также влияет на контактное нажатие. Указанные особенности работы токосъемных устройств предлагается учитывать при расчете и моделировании их взаимодействия [25]. Для этого разработан универсальный программный комплекс «ТехноСканер» [26]. Изобретение служит для распознавания видеоинформации, снятой с двух видеорегистраторов, и получения численных значений параметров, указываемых оператором в зависимости от целей измерения.

Из проведенного анализа научных трудов следует, что качество токосъема при скоростном и высокоскоростном движении подвижного состава напрямую зависит от того, насколько точно значения параметров контактных подвесок соответствуют проектным нормам.

1.3 Анализ существующих способов реализации проектов при строительстве скоростных и высокоскоростных участков контактной сети на этапах жизненного цикла

При реализации имеющейся проектной документации на контактную сеть для скоростей движения 200 или 250 км/ч, помимо технических сложностей существует ряд проблем, из-за которых строительство скоростных и высокоскоростных железнодорожных магистралей в России осуществляется медленными темпами [1]. Главная из них – недостаточное финансирование отрасли. Решение данной проблемы осуществляется путем использования различных способов реализации проекта.

В мире наиболее распространены две схемы реализации проектов в транспортной области. Первая – поэтапное выполнение проекта (рисунок 1.2). Вторая – государственно-частное партнерство на основе контракта жизненного цикла. Контракт жизненного цикла известен под аббревиатурой *DBFM (Design Build Finance Maintain)*, что означает: «проектирование, строительство, финансирование, эксплуатация» [45]. На текущий момент в Российской Федерации применяется «типовая схема», в основе которой лежит разделение проекта на этапы с приемкой работ по проектированию, строительству и эксплуатации отдельным подрядчикам и отдельной приемкой результатов работ на каждом этапе [46, 56]. В связи с чем на каждом этапе возрастает уровень риска при исполнении обязательств по договору строительства. Вся ответственность возлагается на заказчика (представитель государства). Риски могут повлечь значительный рост затрат в случае реализации высокоскоростных железнодорожных магистралей (срыв сроков сдачи объекта и даже самого проекта).

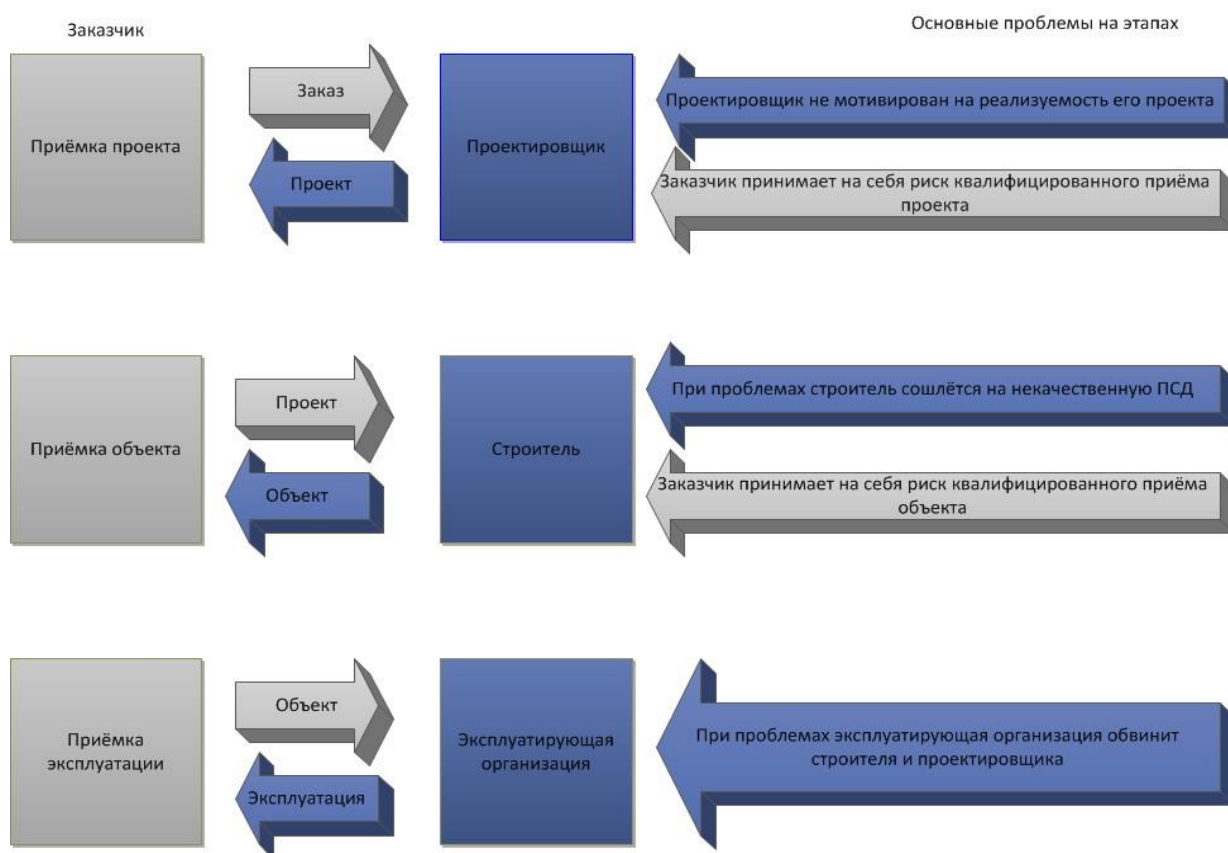


Рисунок 1.2 – Схема поэтапного выполнения проекта

Железнодорожные магистрали являются объектами, при возведении которых отдельно заказывать проектно-строительную документацию и затем строительство слишком рискованно. Исполнитель проекта магистрали должен выполнять эти два этапа самостоятельно в рамках одного государственного контракта [47]. Таким образом, проектирование и строительство должно осуществляться сотрудниками в штате одной организации, чтобы в случае ошибок и отказов застройщик не перекладывал свою вину на проектировщика и наоборот. В результате необходимо совершенствовать существующую проектную документацию, привлекая субподрядчиков, соблюдая сроки ввода в эксплуатацию и использование дополнительных денежных средств. Нужно изначально сделать так, чтобы одна организация занималась и проектированием, и строительством, и вводом в эксплуатацию, и техническим обслуживанием объекта на протяжении нескольких лет.

В предлагаемой схеме контракта жизненного цикла (рисунок 1.3) [49], заказчик начинает оплатить за сервис с момента ввода объекта в эксплуатацию и производит платежи ежегодно, при этом исполняя функциональные критерии, таких как время в пути, межпоездной интервал, количество задержек поездов, количество аварий ситуаций, угрожающих здоровью и жизни пассажиров. Заказчик в лице государства должен гарантировать исполнителю регулярную оплату услуг за стабильное предоставление объекта в работоспособном состоянии.

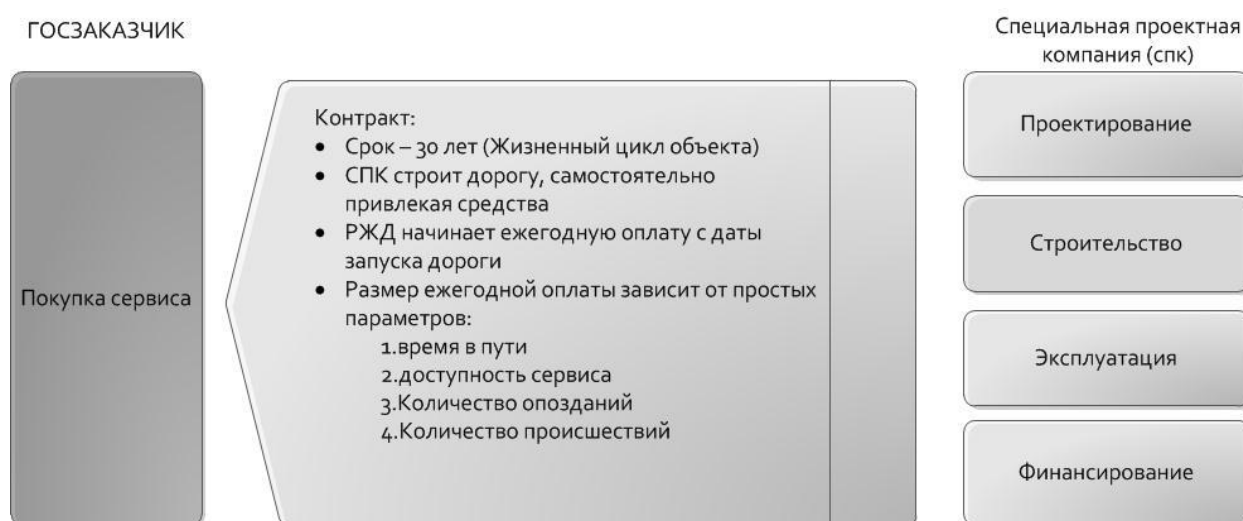


Рисунок 1.3 – Схема при применении контракта жизненного цикла

В отличие от «типовой» схемы (рисунок 1.2), при использовании контракта жизненного цикла государство не вкладывает денежные средства в реализацию проекта. Проектирование, строительство и сдача объекта в эксплуатацию происходит за счет исполнителя, после чего заказчик платит не за объект, а за его работу в течение жизненного цикла, который может достигать 30–40 лет. При этом в случае отсутствия перевозок, оплата услуг прекращается [48]. Таким образом, главной особенностью контракта жизненного цикла является создание у исполнителя работ правильной мотивации на следующее:

- применение инновационных технологий, которые позволяют экономить в дальнейшем на ремонте и техническом обслуживании;
- ввод объекта в эксплуатацию в кратчайшие сроки (оплата сервиса начнется с момента наступления работы железнодорожной магистрали);
- высокое качество выполняемых работ (в случае отказов на протяжении жизненного цикла ремонт объекта осуществляет исполнитель) [50].

Таким образом, исполнитель будет полностью избавлен от рисков спроса на объект (продажей билетов или сбором средств за проезд занимается отдельная компания-оператор) и мотивирован на качественную реализацию объекта [50]. Преимуществами от использования контракта жизненного цикла для государственного заказчика являются:

- снижение стоимости на строительство объекта и его затрат на его обслуживание;
- исключение всевозможных проектных, а также технологических рисков;
- сокращение количества персонала, которое задействовано при приемке проекта, и соответственно более рациональное расходование денежных средств;
- предсказуемость будущих затрат на поддержку инфраструктуры.

При создании железнодорожной магистрали рассматриваются следующие стадии жизненного цикла:

- выработка концепции;
- опытно-конструкторские работы;
- изготовление и монтаж;

- внедрение в эксплуатацию с проведением необходимых мероприятий по обучению персонала, оборудованию ремонтной базы;
- эксплуатация и техническое обслуживание;
- ликвидация объекта (утилизация) [51].

Контроль всех вышеприведенных стадий в течение 30–40 лет возможен лишь с применением модели государственно-частного партнерства, а модель поэтапного выполнения проекта с трудом реализуется в России и затормаживает процесс строительства новых железнодорожных линий особенно с высокими скоростями движения.

При запуске в эксплуатацию объекта основным риском является его окупаемость. Железнодорожные магистрали не могут окупаться сами по себе, их выгоду государство и общество получает через:

- повышение качества и доступности социальных услуг и инфраструктуры для населения;
- социально-экономическое развитие территорий, прилегающих к скоростным магистралям;
- развитие транспортно-логистических систем и последующий рост бизнеса, использующего эти системы (экономические, социальные и налоговые эффекты);
- развитие производительных сил и рост занятости населения за счет строительства масштабных объектов инфраструктуры [47].

Следует также отметить, что высокоскоростные магистрали в любой стране мира строятся не как коммерческие проекты, основной целью которых является получение прибыли, а как общенациональные социально и экономически значимые инфраструктурные проекты, дающие импульс к развитию регионов и повышению мобильности населения [52]. Конечно, на продаже проездных билетов проект не окупится. От него следует ожидать лишь социального эффекта и в малой доле экономического. Создание сети высокоскоростных магистралей в такой огромной стране, как Россия, поможет наладить транспортную связь между регионами. В этом случае можно сказать, что высокоскоростное движение – это

потребность, соответствующая тенденциям современной динамике развития железнодорожного транспорта.

Таким образом, использование модели государственно-частного партнерства при строительстве скоростных и высокоскоростных магистралей несет в себе очевидную выгоду, как для государства, так и для частного сектора, и для общества, получающего высокоскоростную магистраль, поддерживаемую на высочайшем уровне десятки лет. Применение контракта жизненного цикла обеспечивает эффективное распределение рисков между заказчиком и исполнителем, а также позволяет охватить весь жизненный цикл высокоскоростной магистрали. Экономия денежных средств от проведенных мероприятий составляет 30-40 % и достигается это за счет объединения в один заказ проектирования, изготовления, строительства и содержания объекта, что подтверждено международным опытом применения государственно-частного партнерства при помощи контракта жизненного цикла во всем мире, в том числе при реализации высокоскоростных магистралей [3, 4].

За счет эффективного распределения рисков между заказчиком и подрядчиком применение контракта жизненного цикла позволит обеспечить на надежном уровне в течение установленного срока статические параметры контактной подвески, которые предъявляются для скоростей движения 200–250 км/ч. Следует также отметить, что главным критерием заключения контракта жизненного цикла при строительстве объекта является максимально возможная продолжительность жизненного цикла при минимальных сопутствующих капиталовложениях. Для того чтобы определить реальную продолжительность жизненного цикла устройств контактной сети, необходимо выявить и устранить причины их преждевременных отказов.

1.4 Анализ существующих технологий установки консолей контактной подвески

Один из основных параметров контактной подвески, который контролируется как при первичной установке поддерживающих устройств, так и в процессе их эксплуатации, является высота беспровесного положения контактного провода над уровнем головки рельса. Для того чтобы параметры контактной сети соответствовали проектным значениям, необходимо использовать способы и методы, отвечающие современным требованиям.

Для выявления наиболее оптимальной технологии установки консолей и монтажа контактной подвески были рассмотрены распространенные варианты. Известна технология установки консолей [62], с их предварительной сборкой до подъема. Установочные параметры консолей и фиксаторов должны соответствовать приведенным в проектных решениях и монтажных чертежах. Перед сборкой консолей для каждой опоры измеряют габарит и угол ее наклона в плоскости, перпендикулярной оси пути, по результатам измерений для каждой консоли определяют положения на несущих элементах перемещаемых по ним регулировочных элементов крепления. Затем осуществляют сборку консолей с установкой регулировочных элементов крепления в расчетное положение, после чего консоли поднимают и устанавливают на проектном расстоянии по опоре от отметки уровня головки рельса (УГР).

Для обеспечения заданных параметров подвески технология установки консолей и принцип расчета мерных струн выполняются следующим способом [6]. Консоль монтируется с точностью: ± 150 см по высоте несущего троса и ± 10 см по зигзагу с последующими высокоточными промерами фактически полученных высот и зигзагов несущего троса (НТ) лазерным измерителем. В этом случае расчет мерных производится на фактически измеренные значения высот и зигзагов [6].

По данной технологии консоль устанавливается фактически «визуально». Для получения качественного токосъема и постоянной эластичности контактной подвески, особенно при высоких скоростях движения поездов, необходимо будет проводить вертикальную регулировку контактной подвески с изменением ее конструктивной высоты. В свою очередь это повышает трудоемкость при производстве работ, что немаловажно в условиях ограниченных по времени технологических «окон».

За рубежом (Германия, корпорация «Сименс») проведение монтажных работ устройств контактной сети охватывает весь жизненный цикл (проектирование, изготовление и последующий монтаж) контактной сети. Проектирование консолей – неотъемлемая часть ее установки. Процесс проектирования двухэтапный – до и после выполнения строительных работ по установке опорных конструкций. Такой подход гарантирует точность выполняемых расчетов и приводит к большей ответственности проектировщика при принятии технических решений. С помощью программного продукта геометрические размеры консоли рассчитываются индивидуально для каждой опоры: все значения длин труб (наклонная и горизонтальная балка консоли, основной стержень фиксатора), расстояния до всех элементов крепления на консолях, величины зигзага, а также угла наклона дополнительного фиксатора. Данный подход позволяет упростить установку консолей (на монтаж поставляется полностью оснащенная консоль) и сократить «оконное» время при реконструкции контактной сети.

К моменту производства работ на каждую опору имеется паспорт, в котором приведены значения высот установки хомутов консоли индивидуально по каждой из опор. При правильности расчетов нет необходимости регулировать консольный узел на перегоне, а следует лишь собрать консоль и смонтировать провода контактной подвески на консоли. Приведем исходные данные с рассчитанными размерами, которые необходимы для сборки и последующей установки (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Паспорт опоры

| | |
|----------------------------------------------------------------|--------------------|
| Контактная подвеска | 2хНлОл-100 + М-120 |
| Тип струн | Бр16 |
| Опора стоит слева от пути (по ходу километров), с габаритом | 2,2 м |
| Отклонение передней грани опоры равно | 0 мм/м |
| Опора находится на прямом участке пути | |
| Зигзаг контактной подвески от опоры | 0,30 м |
| Высота контактного провода от уровня нижнего из двух рельсов | 6,5 м |
| Конструктивная высота | 1,8 м |
| Высота верхнего хомута (от уровня нижнего из двух рельсов) | 8,172 м |
| Расстояние между хомутами (по вертикали) | 2,16 м |
| Расстояние от грани опоры до поворотной петли | 0,178 м |

В Российской Федерации технология установки консолей, аналогичная «Сименс», применяется в АО «ФортатекЭнергоТрансСтрой». На рисунке 1.4 изображена консоль с обратным фиксатором типа АИОп 70/80-1 производства АО «ФортатекЭнергоТрансСтрой» – аналог алюминиевой консоли типа В128 немецкой фирмы «Сименс» [74].

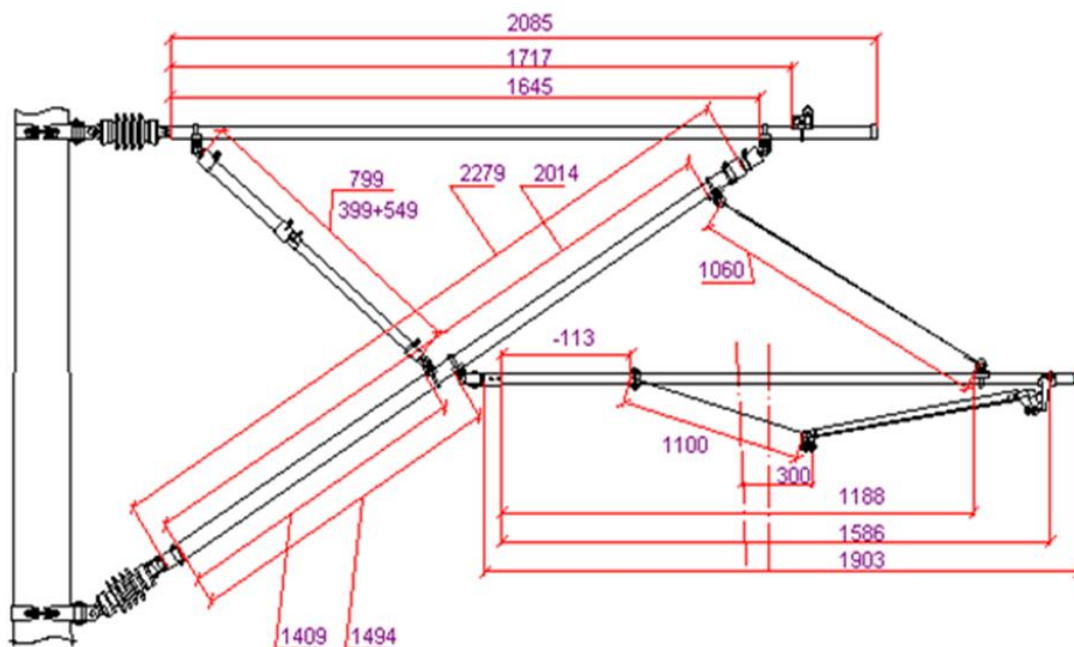


Рисунок 1.4 – Консоль типа АИОп 70/80-1

Все расчетные геометрические размеры, необходимые для сборки и последующей установки отдельно взятой консоли, не повторяются. Каждая консоль становится уникальной и не может быть заменена другой, так как она не подойдет по размерам. Индивидуальный расчет консолей дает возможность быстрой установки уже готовой консоли, сокращая общее время монтажа контактной подвески. Данный метод очень эффективен для реконструкции перегона контактной сети, так как вся долгосрочная работа производится на бумаге и в цехах.

Основным недостатком данного комплексного подхода является то, что исходные данные для расчета консоли могут быть недостоверными. Например, при просадке грунта под фундаментом опоры меняется возвышение рельса. Также возможны ошибки при натурных измерениях после установки опор. Не исключены ошибки проектировщика при вводе значений в программный продукт и при проектировании на первом этапе. Все это может привести к неправильной сборке консоли по полученным результатам, а также неверно определить место установки хомутов консоли. Если ошибку выявить при монтаже, то полученную консоль придется утилизировать, так как она не поддается регулировке и не подходит для установки на другую опору. Затем потребуются спроектировать и изготовить новую консоль, что влечет за собой дополнительные денежные затраты и время простоя. Допущенная ошибка на этапе монтажа может повлечь за собой более масштабные расходы непосредственно при ее эксплуатации.

Из [64] следует, что тяга консоли монтируется на расстоянии не менее 200 мм от ее вершины на промежуточных опорах, а на переходных опорах при сопряжении анкерных участков – не менее 400 мм. Узел для крепления пяты консоли устанавливается на опоре в зависимости от типа консоли, габарита и места установки опоры (на прямой, внешней или внутренней стороне кривого участка пути), а также принятой высоты беспровесного положения контактного провода от уровня головки рельса. Для того чтобы определить место установки узла для крепления пяты консоли и расстояния между пятой и тягой на опоре, следует использовать таблицы применения и установки консолей в типовых проектах либо измерить эти расстояния по факту. В [64] не приводятся приборы, позволяющие

измерить требуемое расстояние до мест установки узлов крепления консоли. Монтаж консоли осуществляется визуально без нормируемой точности.

Для компенсированной подвески точка крепления несущего троса на консоли может иметь отклонение по высоте от уровня головки рельсов от + 500 мм до –300 мм. Если отклонения превышают допустимые нормы, то следует провести регулировку консоли, путем изменения длины ее тяги и положения крепления несущего троса на кронштейне.

Согласно [65], не допускается отклонение более ± 100 мм от проектного расстояния между точками крепления пяты и тяги консоли на опоре контактной подвески КС-160, то есть отклонение от проектного положения высоты крепления тяги и пяты консоли допускается на величину ± 50 мм от уровня головки рельса. Отклонение от проектного положения высоты крепления консольных хомутов для КС-200 допускается на величину ± 5 мм. Допускаемые отклонения при приемке работ выше, чем при монтаже. Действующие технологические карты не соответствуют требованиям, которые предъявляются для контактных подвесок КС-200 и КС-250, их необходимо переработать. Армировку опор следует осуществлять в соответствии с требованиями проекта. Для этого потребуются изменить порядок проведения монтажа поддерживающих конструкций и использовать современные средства измерений.

Статические параметры контактных подвесок обеспечиваются за счет точной установки поддерживающих конструкций (консолей) по утвержденным типовым проектам. Анализ применяемых на сегодняшний день технологий установки консолей в России и за рубежом показал, что установка консолей на опоры контактной сети по отечественным технологиям не отвечает требованиям точности для реализации проектов КС-200 и КС-250. Технологические карты нуждаются в усовершенствовании. Зарубежные технологии трудоемки и требуют больших финансовых затрат. Для их реализации потребуются дополнительные нормы времени на производство работ. В связи с этим проблема точной установки консоли в проектное положение является актуальной задачей, для ее решения необходимо изобрести технологию установки консолей, которая бы позволяла повысить точ-

ность установки консоли по высоте опоры в требуемой точке по монтажным чертежам в зависимости от температуры. Указанная цель достигается при точном определении места установки узлов крепления консоли по высоте опоры относительно уровня головки рельса. Для этого необходимо на этапе проектирования консолей обеспечить рациональные статические параметры контактной подвески за счет правильно выбранных типов устройств. На основании [37, 6 и 65] известно, что отклонение на установку консолей составляет для скорости движения 200 км/ч ± 10 мм, а для 250 км/ч — ± 5 мм. Соблюдение данных норм позволяет получить стабильные значения высоты контактного провода от уровня головки рельса и разницу высот контактного провода от уровня головки рельса на смежных опорных узлах. На основании [71, 80, 90–94], а также проанализированных технологий установки и применяемых типов поддерживающих устройств, предложена классификация консолей по скоростным режимам (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Классификация консолей по скоростному режиму

| Критерии классификации | Классификация консолей по применимости для монтажа на линиях с различными скоростными режимами | | |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| | Для скоростей движения до 160 км/ч | Для скоростей движения от 161 км/ч до 200 км/ч | Для скоростей движения от 201 км/ч до 250 км/ч |
| Допускаемое отклонение консоли от проектного положения по высоте опоры | ± 50 мм | ± 10 мм | ± 5 мм |
| Способ крепления к опоре | При помощи закладных деталей в опоре или консольных хомутов | При помощи консольных хомутов, которые позволяют обеспечить заявленное допускаемое отклонение консоли от проектного положения по высоте опоры, применение закладных деталей недопустимо | |
| Конструктивное исполнение | Наклонные или горизонтальные | Горизонтальные, обеспечивающие требуемую точность монтажа несущего троса и постоянство конструктивной высоты контактной подвески, позволяющие выполнять независимую регулировку несущего троса по зигзагу | |
| Материал изготовления, форма сечения | Швеллерные стальные консоли | Полые трубчатые консоли из алюминиевых сплавов | Полые трубчатые консоли из алюминиевых сплавов или консоли из полимера |
| Количество перекрываемых путей | Однопутные или двухпутные | Однопутные | |
| Способ изоляции | Изолированные или неизолированные | Изолированные (изолируются горизонтальный и наклонный стержни консоли); при изготовлении консоли из полимера дополнительная изоляция не требуется | |

Основные критерии при составлении классификации консолей:

- скоростной режим, при котором эксплуатируются консоли;
- допускаемые отклонения при установке консолей, взятые из [37, 6 и 65];
- конструктивная особенность консолей, обеспечивающая заданные статические параметры контактной подвески, взятая из [37 и 6].

На стадии проектирования (первый этап жизненного цикла) применение данной классификации дает возможность выбора разновидностей консолей, предназначенных к эксплуатации для конкретного скоростного режима.

Выводы по первой главе

1. В результате проведенного статистического анализа эксплуатационной надежности устройств контактной сети установлено, что наибольшее количество отказов первой категории вызваны вследствие разрегулировки поддерживающих и опорных конструкций.

2. Анализ эксплуатационной надежности контактной подвески КС-200 на магистрали Москва – Санкт-Петербург показал, что для повышения надежности контактной сети в целом необходимо усовершенствовать существующие технологии проведения монтажных работ (технологические карты), которые гарантировали бы точность установки консоли по высоте опоры контактной сети.

3. Правильный выбор способов реализации проектов в транспортной отрасли дает возможность уже на начальной стадии (этапе проектирования) закладывать должный уровень надежности и долговечности, а также сократить расходы на строительство и дальнейшее техническое обслуживание. Схема государственно-частного партнерства с применением контракта жизненного цикла известна во всем мире и зарекомендовала себя как инструмент, позволяющий сократить риски возникновения отказов и уменьшить капиталовложения.

4. Проанализировав существующие технологии установки консолей, было выявлено, что действующие технологические карты не обеспечивают должную точность при установке поддерживающих конструкций для скоростных и высокоскоростных контактных подвесок, поэтому предложена и научно обоснована классификация консолей, применение которой на стадии проектирования (первый этап жизненного цикла) позволяет обеспечить требуемые статические параметры контактной подвески для конкретного скоростного режима.

2 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЕЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Продолжительность жизненного цикла поддерживающих конструкций контактной сети зависит от числа и длительности отказов. Повышение надежности устройств электроснабжения, приводящее к увеличению продолжительности жизненного цикла, формируется на трех основных этапах:

- проектирование;
- изготовление и монтаж;
- эксплуатация.

На этапе проектирования для повышения надежности необходимо увеличивать коэффициенты запаса прочности, за счет использования более долговечных материалов и защитных покрытий, а также использования методов расчетов с наименьшим количеством допущений.

При изготовлении, сборке и монтаже следует применять высокоточные технологии и строго их соблюдать. Необходимым условием поддержания работоспособности консолей контактной сети являются:

1. Оценка риска возникновения задержки поездов вследствие отказа поддерживающих конструкций.
2. Анализ причин отказов при недопустимом уровне риска.
3. Разработка математической модели расчета продолжительности жизненного цикла.
4. Совершенствование существующей технологии установки консолей.
5. Организация работы по использованию разработанных мер.

2.1 Оценка риска задержки поездов вследствие разрегулировки контактной подвески

Согласно внедряемой на ОАО «Российские железные дороги» методологии управления ресурсами, рисками и надежностью на всех этапах жизненного цикла (УРРАН), управление безопасностью функционирования объекта железнодорожного транспорта должно осуществляться на основе управления рисками в соответствии с [53]. УРРАН позволяет отказаться от существующего подхода к управлению безопасности функционирования контактной сети, при котором основным положительным результатом является сокращение числа опасных отказов за рассматриваемый период работы по сравнению с предыдущим без учета возникающих рисков [53].

Методология предусматривает, что оценка риска состоит из его анализа и последующего оценивания: если риск является допустимым, то безопасность функционирования данного объекта обеспечивается. Если же величина риска выше допустимых значений, то требуется выполнение мероприятий по повышению безопасности функционирования объекта [54]. Такой подход дает возможность уменьшить стоимость жизненного цикла контактной сети и оптимизировать применение трудовых и материальных ресурсов.

Из представленных данных следует, что при анализе рисков, связанных с контактной сетью, следует в первую очередь учитывать опасности с большим удельным весом, а именно разрегулировки контактной подвески, связанные с несоблюдением технологического процесса при установке поддерживающих конструкций.

По методике [54] рассчитаем риск задержки поездов, возникающий при разрегулировке контактной подвески, для участка на постоянном токе Свердловской железной дороги.

Количество отказов первой категории на участке контактной сети – 3 и третьей категории – 2. Интенсивность опасных отказов за три года наблюдения вычисляется по формуле

$$\lambda = r / T_{\text{наб.}}, \quad (2.1)$$

где λ – интенсивность отказов; r – количество отказов; $T_{\text{наб.}}$ – интервал наблюдения, лет.

Таким образом по формуле (2.1)

$$\lambda = \frac{3}{3} = 1 / \text{год.}$$

Интенсивность отказов для риска задержки поездов вследствие разрегулировки контактной подвески определяется по формуле:

$$\lambda_1 = \lambda \times k, \quad (2.2)$$

где k – весовой коэффициент, взятый из [54].

$$\lambda = 1 \times 0,22 = 0,22 / \text{год.}$$

Определим интенсивность отказов для одного эталонного объекта при известном событии по формуле:

$$\lambda_1^{\text{э}} = \frac{\lambda_1}{n_A} \times k^k \times k^c, \quad (2.3)$$

где k^k – переводной коэффициент для эталонных объектов контактной сети, взятый из [54]; k^c – коэффициент, который учитывает срок эксплуатации контактной подвески, взятый из [54]; n_A – количество эталонных анкерных участков.

По формуле (2.3) эталонная интенсивность составляет

$$\lambda_1^{\text{э}} = \frac{0,22}{70} \cdot 2,5 \cdot 1,4 = 0,011 / \text{год.}$$

Величина ущерба для одного отказа определяется по формуле

$$C = \frac{C_{\Sigma}}{r}, \quad (2.4)$$

где r – количество отказов; C_{Σ} – продолжительность устранения отказов до возобновления движения.

По формуле (2.4)

$$C = \frac{2,35}{3} = 0,78 \text{ часа.}$$

Уровень риска для одного эталонного объекта определяется по формуле

$$R = \lambda_1^3 \cdot C. \quad (2.5)$$

Уровень риска вычисляется по формуле (2.5)

$$R = 0,011 \times 0,78 = 0,0085 \text{ часа/год.}$$

Это означает, что один эталонный объект на рассматриваемом участке может привести к задержке поездов на время 0,0085 часа в год.

Уровень риска для участка определяется по формуле:

$$R_{\text{уч.}} = R \times n_A = \lambda_1 \times C, \quad (2.6)$$

По формуле (2.6) уровень риска для участка в целом равен

$$R_{\text{уч.}} = 0,22 \times 0,78 = 0,171 \text{ часа.}$$

Допустимый риск задержки поездов на перегоне составляет приблизительно 0.1 часа, поэтому необходимо сравнить рассчитанное значение с допустимым и выполнить оценивание поученного риска.

Исходя из полученных значений: $R_{\text{уч.}} = 0.171$ часа, а $R_{\text{доп}} = 0.1$ часа, значит $R_{\text{уч.}} > R_{\text{доп}}$, следовательно, риск является недопустимым.

Далее составим матрицу рисков для рассматриваемого участка и заданного события. Типовая форма матрицы рисков содержит 6 уровней вероятностей и 4 уровня тяжести последствий, в которой уровень риска ранжируется по 4-м категориям (не принимаемый в расчет, допустимый, нежелательный и недопустимый). Матрица рисков строится следующим образом:

- по вертикальной оси отсчитываются вероятности возникновения события;
- по горизонтальной оси отсчитываются размеры последствий возникновения события, представленные в соответствии с принятой шкалой тяжести последствий;
- проводится определение и ранжирование уровня риска для каждой ячейки матрицы с учетом принятого допустимого уровня риска.

При отсутствии статистических данных рекомендуется шкалу вероятностей задавать с шагом 2,5, при этом среднее значение частоты события размещается около центра шкалы в середине области «вероятное». Нижняя или верхняя граница области «вероятное» будет меньше или больше интенсивности на половину шага, или в $\sqrt{2,5}$ раз, а границы областей отличаются на один шаг, то есть в 2,5 раза.

В итоге получим значения, которые соответствуют шести уровням шкалы частот [54]:

- частое: $0,35 \text{ год}^{-1} < f \leq 2,5 \times 0,35 \text{ год}^{-1} \rightarrow 0,35 \text{ год}^{-1} < f \leq 0,88 \text{ год}^{-1}$;
- вероятное: $\frac{0,22}{\sqrt{2,5}} \text{ год}^{-1} < f \leq 0,22 \times \sqrt{2,5} \text{ год}^{-1} \rightarrow$
 $\rightarrow 0,14 \text{ год}^{-1} < f \leq 0,35 \text{ год}^{-1}$;
- случайное: $\frac{0,14}{2,5} \text{ год}^{-1} < f \leq 0,14 \text{ год}^{-1} \rightarrow 0,056 \text{ год}^{-1} < f \leq 0,14 \text{ год}^{-1}$;
- редкое: $\frac{0,056}{2,5} \text{ год}^{-1} < f \leq 0,056 \text{ год}^{-1} \rightarrow 0,022 \text{ год}^{-1} < f \leq 0,056 \text{ год}^{-1}$;
- крайне редкое: $\frac{0,022}{2,5} \text{ год}^{-1} < f \leq 0,022 \text{ год}^{-1} \rightarrow$
 $\rightarrow 0,0088 \text{ год}^{-1} < f \leq 0,022 \text{ год}^{-1}$;

$$\text{– маловероятное: } \frac{0,0088}{2,5} \text{ год}^{-1} < f \leq 0,0088 \text{ год}^{-1} \rightarrow$$

$$\rightarrow 0,0035 \text{ год}^{-1} < f \leq 0,0088 \text{ год}^{-1}.$$

Шаг шкалы последствий рекомендуется выбирать таким, чтобы его произведение на шаг частот (вероятностей) не превышало 10 ... 20, в противном случае оценка риска с использованием обеих шкал будет слишком грубой. При отсутствии статистических данных рекомендуется шкалу последствий задавать с шагом 4, при этом среднее значение тяжести последствий размещается около центра шкалы. Поэтому выбирается шаг шкалы последствий, равный 4, а значит ущерб, равный одному часу соответствует границе уровней тяжести последствий «критический» и «катастрофический» [54].

Далее необходимо получить значения, которые соответствуют четырем уровням шкалы последствий:

- катастрофический: $1 \text{ час} < C \leq 4 \text{ часа}$;
- критический: $0,25 \text{ часа} < C \leq 1 \text{ час}$;
- незначительный: $0,063 \text{ часа} < C \leq 0,25 \text{ часа}$;
- незначительный: $0,016 \text{ часа} < C \leq 0,063 \text{ часа}$.

Перемножив шаги шкал частот и последствий, получим шаг уровня рисков, который равен 10. Затем вычислим границы, соответствующие четырем категориям риска:

- недопустимый: $R_{\text{доп}} < R \leq 10 \times R_{\text{доп}} \rightarrow 0,1 \text{ часа} < R \leq 1 \text{ час}$;
- нежелательный: $0,1 \times R_{\text{доп}} < R \leq R_{\text{доп}} \rightarrow 0,01 \text{ часа} < R \leq 0,1 \text{ часа}$;
- допустимый: $0,01 \times R_{\text{доп}} < R \leq 0,1 \times R_{\text{доп}} \rightarrow 0,001 \text{ часа} < R \leq 0,01 \text{ часа}$;
- не принимаемый в расчет: $0,001 \times R_{\text{доп}} < R \leq 0,01 \times R_{\text{доп}} \rightarrow$
 $\rightarrow 0,0001 \text{ часа} < R \leq 0,001 \text{ часа}$.

Построим матрицу рисков, соответствующую данным критериям (рисунок 2.1)

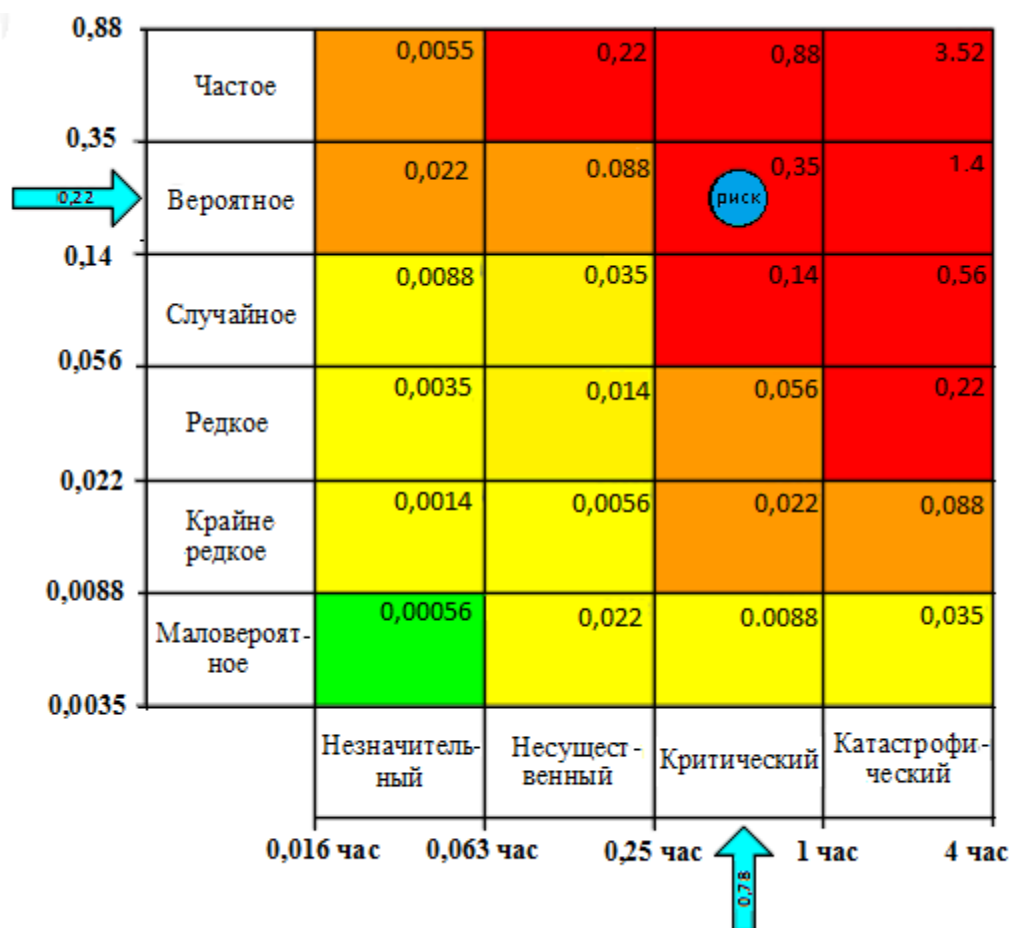


Рисунок 2.1 – Значения матрицы рисков задержки поездов, полученные из-за разрегулировки контактной подвески

Для того чтобы построить матрицу рисков, необходимо перемножить значения частоты (верхние) и тяжести последствий, которые соответствуют каждой ячейке и назначить требуемую ей категорию в зависимости от результата [54]. Так как полученные значения матрицы содержат ячейки со всеми возможными уровнями риска, то они удовлетворяют условию по совместности. Если рассчитанная матрица не удовлетворяет приведенному выше условию, то необходимо провести корректировку шкал частот и последствий. Затем потребуется повторить ранжирование ячеек, определив ячейку матрицы, в которую попадает рассчитанный риск [54]. Для этого отложим на соответствующих осях частоту последствий, равную 0,22/год, и тяжесть последствий, равную 0,78 часа [54]. Пересечение этих значений находится в выделенной ячейке (рисунок 2.1). Полученный уровень

риска ($R_{\text{уч.}} = 0,171$ часа) больше допустимого уровня ($R_{\text{доп}} = 0,1$ часа). Это означает, что требуется обработка данного риска и принятие управленческого решения по вопросу его исключения.

Проведенный выше расчет подтверждает тот факт, что для предотвращения риска задержки поездов из-за отказов контактной подвески необходимо усовершенствовать существующие технологии установки поддерживающих конструкций. Данная мера позволит обеспечить требуемые статические параметры контактной подвески для скоростных и высокоскоростных участков железных дорог.

2.2 Расчет продолжительности жизненного цикла контактной подвески

Любая техническая система требует определенных капиталовложений, начиная с этапа проектирования и заканчивая утилизацией. Инвестировать в подобные проекты способны лишь госкорпорации. В тоже время, на каждой стадии жизненного цикла (рисунок 2.2) технического объекта существуют финансовые риски. Очевидно, что инвестировать в сомнительные проекты не готово даже государство.



Рисунок 2.2 – Этапы жизненного цикла создаваемого объекта (системы)

Железнодорожные участки с высокоскоростным движением подвижного состава являются сложными техническими системами. Организатором строительства выступает государственный заказчик, но за реализацию проекта отвечает ОАО «Российские железные дороги». Из-за указанной выше проблемы создание таких объектов необходимо производить при помощи схемы на основе контракта жизненного цикла [55].

Оптимальный период времени, на который следует заключать контракт жизненного цикла (КЖЦ) устройства индивидуален. При заключении контракта жизненного цикла на строительство участка контактной сети, например на сорок лет, консоли нуждаются в усовершенствовании, так как срок службы их применения составляет около тридцати лет. Элементы контактной сети имеют внезапные отказы, так как они подвержены влиянию от внешних факторов, механическим и электрическим воздействиям. В связи с чем, реальный срок службы элементов контактной сети [68] становится меньше заявленного (рисунок 2.3).

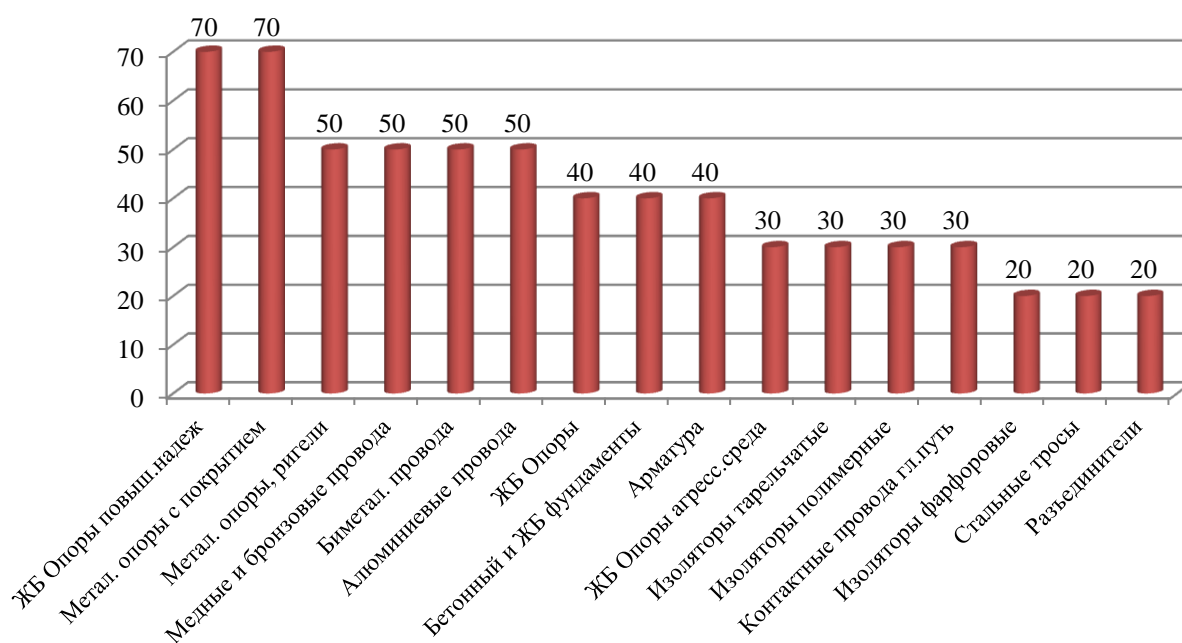


Рисунок 2.3 – Сроки службы элементов контактной сети

Повышение надежности приведенных выше устройств по отдельности позволит увеличить жизненный цикл всей системы в целом. Обрыв струны на контактной подвеске и падение опоры вместе с подвеской одинаково расцениваются как отказ контактной сети. Если в первом случае возможен пропуск подвижного состава при опущенном токоприемнике, то во втором он невозможен [35]. Время, которое понадобится на восстановление объектов, отличается в разы.

Основной критерий оптимальности при заключении контракта жизненного цикла – минимизация затрат на поддержание максимально возможного срока службы устройств. Для того чтобы уменьшить количество отказов, необходимо применять модернизированные детали и узлы контактной подвески.

Применение математических моделей надежности помогает выявить, какие элементы контактной подвески следует оптимизировать, для того чтобы скорость движения поездов увеличилась, а интенсивность отказов уменьшилась, при этом уделяя отдельное внимание совершенствованию технологий монтажа и последующего технического обслуживания объектов.

Отказ сложной технической системы наступает при выходе из строя одного из ее элементов. Временная неработоспособность контактной подвески приводит к задержке поездов, и соответственно к незапланированным расходам. На рисунке 2.4 изображен отказ с последующим восстановлением одного элемента, входящего в состав единой сложной технической системы.

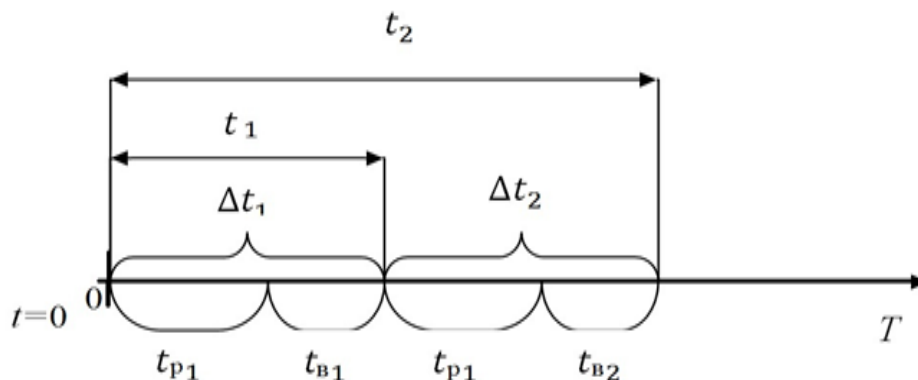


Рисунок 2.4 – Эпюра, описывающая ситуацию восстановления отказавшей системы путем замены (ремонта) элемента

Система работает, начиная с момента времени $t = 0$ до момента времени t_{p1} . После чего в течение времени t_{B1} происходит восстановительный процесс объекта. Затем система продолжит работать случайное время t_{p2} и через некоторый промежуток системы вновь выходит из строя в момент $t_{p1} + t_{B1} + t_{p2}$ и приходит в норму за время t_{B2} .

Система взаимно независимых случайных величин состоит из интервалов времени между отказами [57]. Моменты отказов и (или) восстановлений в каждом испытании – это ряд чисел, образующих случайный поток, который называется процессом восстановления. Данный процесс продолжается в течение жизненного цикла системы или элемента, входящего в нее, а также является различным для каждого элемента. Дифференциальной характеристикой функции восстановления $\Omega(t)$ является плотность восстановления $\omega(t)$. Данные функции определяются по следующим формулам:

$$\Omega(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t), \quad (2.7)$$

$$\omega(t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t), \quad (2.8)$$

где $f_n(t)$ – плотность распределения наработки до n -го отказа; $F_n(t)$ – функция распределения наработки до n -го отказа.

В случае независимости наработок между отказами функция распределения наработок до n -го отказа $F_n(t)$ находится путем последовательного применения правила свертки интегралов для суммы двух случайных величин:

$$F_n(t) = F_{n-1}(t) \cdot F(\Delta t_n) = \int_0^t F_{n-1}(t - \Delta t) \cdot dF(\Delta t). \quad (2.9)$$

Вычислить аналитические выражения для функции восстановления $\Omega(t)$ и плотности восстановления $\omega(t)$ не представляется возможным ввиду сложности математической формализации при применении стратегий восстановления работоспособности технических систем и необходимости учета множества факторов, влияющих на замену элемента в системе [57]. Приведенная в формуле (2.9) сверт-

ка вычисляется в конечном виде лишь для некоторых законов распределения. В данном случае для расчета $\Omega(t)$ и $\omega(t)$ потребуется применить метод Монте-Карло [57]. Расчет ведущей функции и параметра потока отказов при указанном методе производится следующим образом: массивы случайных величин Δt_{ik} между $(i - 1)$ -м и i -м отказами моделируются с использованием формул преобразования по известным законам распределения наработок элементов [57]. При этом N – размерность массива. Значения наработок до i -го отказа t_{ik} вычисляются по следующим формулам:

$$t_{ik} = t_{(i-1)k} + \Delta t_{ik}. \quad (2.10)$$

$$t_{1k} = \Delta t_{1k}, \quad (2.11)$$

где i – номер отказа, $i = \overline{1, p}$; k – номер реализации при моделировании, $k = \overline{1, N}$; p – максимальное число отказов элемента, которое получается при k -й реализации случайного процесса.

Полученные случайные величины наработок t_{ik} должны группироваться по интервалам времени. Номер интервала, в который попадал момент возникновения отказа $(t_{1k}, t_{2k}, t_{ik}, t_{pk})$, определяются как целое число от отношения $\frac{t_{ik}}{\Delta t}$, округленное в большую сторону, Δt – величина интервала времени.

Для того чтобы рассчитать продолжительность жизненного цикла контактной подвески необходимо рассмотреть каждый ее элемент из которого она состоит. Используя статистические данные системы «КАСАНТ», которая применяется в ОАО «Российские железные дороги», участок Москва – Санкт-Петербург, где внедрена контактная подвеска типа КС-200. Развернутая длина подвески составляет 1080,6 км. Интенсивность отказов на данном участке приведена в таблице 2.1 на период с 01.01.2013 года по 31.12.2015 года.

Таблица 2.1 – Интенсивность отказов элементов контактной подвески

| Наименование элемента контактной сети | Интенсивность отказов λ , 1/год |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| Контактный провод | 0,66 |
| Несущий трос | 1,33 |
| Струна | 2 |
| Воздушная стрелка | 1 |
| Изолятор | 0,66 |
| Струновые зажимы | 0,33 |
| Усиливающий провод | 0,33 |
| Фиксатор | 0,33 |
| Консоль | 0 |
| Разъединитель | 0 |
| Опора | 0 |
| Прочее | 0 |

Из таблицы 2.1 следует, что периодически отказ возникает у нескольких элементов системы, которые восстанавливаются после ремонта или замены. В рассматриваемом случае жизненный цикл контактной подвески зависит от надежной работы частей, из которых она состоит.

Объекты с равномерно распределенной нагрузкой являются восстанавливаемыми и подчиняются экспоненциальному закону распределения наработки между отказами и временем восстановления. К категории таких объектов относится контактная подвеска. Случайные значения наработок на отказ элемента вычисляются по формуле:

$$t_i = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln \varepsilon_k, \quad (2.12)$$

где $\lambda = const$ – интенсивность отказов элемента; ε_k – случайное число равномерно распределенное на интервале (0; 1); k – номер реализации при моделировании.

Используя генератор случайных чисел, выбираем $\varepsilon_1 = 0,43$. Вычислим срок службы устройств с интенсивностью 0,33 отказов/год в соответствии с приведенной таблицей 2.1

$$t_1 = -\frac{1}{0,33} \cdot \ln 0,43 = 2,55 \text{ года.}$$

Расчет позволяет сделать вывод, что первый отказ элементов контактной подвески (зажим, усиливающий провод, фиксатор и консоль) произойдет на третьем году их эксплуатации. Стоит отметить, что числовое значение ε_k на интервале (0; 1) может быть приближено как к нулю, так и к единице. Исходя из этого, время наработки между отказами может быть различным и зависит от случайных факторов (климатические особенности, ошибки, допущенные на стадии проектирования, монтажа и неправильной эксплуатации).

Определим по формуле (2.10) момент наступления второго по счету отказа одного из элементов подвески после его восстановления или замены

$$t_{21} = t_{11} + \Delta t_{21},$$

Δt_{21} определяется также по формуле (2.12).

$$\Delta t_{21} = -\frac{1}{0,33} \times \ln 0,43 = 2,55 \text{ года.}$$

Второй отказ наступит в момент времени t_{21} .

$$t_{21} = 2,55 \text{ года} + 2,55 \text{ года} = 5,10 \text{ года.}$$

После того как элементы восстановятся они могут отказать снова в течение третьего года эксплуатации, при этом жизненный цикл единой системы станет равен уже пяти годам. Затем после следующего (второго по счету) отказа элемента и его последующей замены (восстановления) необходимо определить жизненный цикл контактной подвески по формуле (2.10)

$$t_{31} = 5,10 \text{ лет} + 2,55 \text{ года} = 7,65 \text{ года.}$$

На основе проведенных расчетов жизненный цикл целой системы составляет семь лет. В свою очередь отказы ее элементов могут наступить минимум через два года.

Зная предположительную продолжительность жизненного цикла, есть возможность определить ее стоимость при помощи программного продукта [58]. Порядок расчета предложен в [46, 51]. Вышеизложенный метод расчета ЖЦ дает

возможность утверждать, что если КЖЦ заключить на семь лет, то за это время отказ контактной подвески как единой системы произойдет дважды. Средний срок продолжительности ЖЦ может варьироваться от 30 до 50 лет. В указанный период времени может произойти 10 – 20 отказов одного элемента контактной подвески [63]. Для уменьшения числа отказов необходимо модернизировать существующие узлы и детали.

Контактная сеть – система, состоящая из множества устройств. Выход из строя одного элемента приводит к неработоспособности всей системы. Из приведенного выше расчета видно, что спрогнозировать точный и правдивый жизненный цикл всей системы как единого элемента достаточно сложно. На каждый элемент по отдельности влияют случайные факторы, такие как форс-мажорные обстоятельства, аномальные перепады температур, вандализм и т.д.). Для получения реальной продолжительности жизненного цикла, например, контактной сети, целесообразно рассмотреть жизненный цикл каждого элемента по отдельности.

2.3 Разработка математической модели для определения межрегулируемого интервала консолей контактной сети

Математическая модель, описанная в [88], разработана для определения межрегулируемого интервала консолей контактной сети по высоте опоры с учетом влияния точности установки консолей в проектное положение. При разработке модели были приняты следующие допущения:

– опорные и поддерживающие конструкции контактной сети установлены в соответствии с требованиями проектно-нормативной документации для рассматриваемого участка контактной сети;

– тип консоли — горизонтальная, установленная на опору при помощи хомутов.

Проектное значение расстояния от уровня головки рельса до нижнего хомута крепления консоли составляет 5700 мм. Допустимый диапазон отклонения, нормируемый действующими технологическими картами, составляет $[-50; +50]$ мм. Исходя из этого, консоль может быть установлена в любой точке от 5650 мм до 5750 мм (на отрезке $L = 100$ мм). Диапазон предельно допустимого отклонения при установке консоли, регламентируемый проектной документацией для скоростей движения свыше 200 км/ч, равен $[-5; +5]$ мм. Это означает, что консоль должна быть установлена в любой точке на отрезке от 5695 мм до 5705 мм длиной $l = 10$ мм. Введем коэффициент K ($0 < K \leq 1$), характеризующий точность установки консоли в проектное положение, который рассчитывается по формуле

$$K = l / L, \quad (2.13)$$

где l – отрезок на опоре, длина которого является предельно допустимым отклонением, регламентируемым проектной документацией, мм; L – отрезок на опоре, длина которого является допустимым диапазоном отклонения, нормируемым действующими технологическими картами, мм.

Коэффициент, указывающий на то, что консоль установлена с недостаточной точностью, определяется выражением

$$H = 1 - K. \quad (2.14)$$

Продолжительность межрегулировочного интервала консоли формируется на следующих стадиях ее жизненного цикла: проектирование, изготовление, монтаж и эксплуатация. Отдельно взятый участок контактной сети имеет одинаковую техническую проектную документацию на все устанавливаемые консоли, которые изготавливаются по идентичной технологии и эксплуатируются при равных усло-

виях. Таким образом, длительность межрегулируемого интервала консоли зависит от качества проведения монтажных работ, а именно установки консолей в проектное положение. Приращение продолжительности межрегулируемого интервала консоли контактной сети будет пропорционально полной продолжительности межрегулируемого интервала консоли, приращению коэффициента, характеризующего точность установки консоли в проектное положение, и коэффициенту, указывающему на то, что консоль смонтирована с недопустимой погрешностью. Исходя из вышесказанного, составим уравнение:

$$\Delta t = t \cdot (1 - K) \cdot \Delta K, \quad (2.15)$$

где Δt – приращение продолжительности межрегулируемого интервала консоли, год; t – продолжительность жизненного цикла консоли, год; $(1 - K)$ – коэффициент, указывающий на то, что консоль установлена с недостаточной точностью, при $0 < K \leq 1$; ΔK – приращение коэффициента, характеризующего точность установки консоли в проектное положение.

Из (2.15) получим уравнение для определения длительности межрегулируемого интервала консоли контактной сети в зависимости от соблюдения допустимых норм при ее установке на опору

$$dt = t \cdot (1 - K) dK. \quad (2.16)$$

Разделив левую и правую части уравнения на t , решение данного уравнения будет иметь следующий вид:

$$\frac{dt}{t} = (1 - K) dK. \quad (2.17)$$

Далее потребуется взять интеграл правой и левой части уравнения (2.17), при этом получим уравнения (2.18) и (2.19)

$$\int \frac{dt}{t} = \int (1-K)dK. \quad (2.18)$$

$$\int \frac{dt}{t} = \int dK - \int KdK. \quad (2.19)$$

Решив уравнение (2.19) с неопределенным интегралом, получим уравнение (2.20):

$$\ln t + C_1 = K + C_2 - \frac{K^{1+1}}{1+1} - C_3. \quad (2.20)$$

Итоговое уравнение примет вид:

$$\ln t = K - 0,5K^2 + C_4. \quad (2.21)$$

Для того чтобы определить продолжительность межрегулировочного интервала консоли из уравнения (2.21), потребуется найти постоянную C_4 по формуле

$$C_4 = \ln t - K + 0,5K^2. \quad (2.22)$$

Для того чтобы определить значение C_4 , необходимо в формулу (2.22) подставить известные значения t и K [61]. Примем следующие условия: $K = K_d$ и $t = t_d$, где K_d – коэффициент точности, характеризующий точность установки консоли в проектное положение при использовании действующих технологий, t_d – продолжительность жизненного цикла консоли, установленной по действующей технологии. Уравнение (2.22) примет следующий вид:

$$C_4 = \ln t_d - K_d + 0,5K_d^2, \quad (2.23)$$

Подставив выражение для определения постоянной C_4 из формулы (2.23) в (2.22), получим следующее:

$$\ln t_D - K_D + 0,5K_D^2 = \ln t - K + 0,5K^2, \quad (2.24)$$

Преобразуем выражение (2.24) для расчета t

$$\ln t = K - 0,5K^2 + \ln t_D - K_D + 0,5K_D^2. \quad (2.25)$$

Извлекая t из-под натурального логарифма, получим уравнения (2.26) и (2.27)

$$t = e^{K - 0,5K^2 - K_D + 0,5K_D^2 + \ln t_D}. \quad (2.26)$$

$$t = e^{K - 0,5K^2 - K_D + 0,5K_D^2} \cdot e^{\ln t_D}. \quad (2.27)$$

Преобразовав выражение (2.27), получим формулу (2.28)

$$t = t_D \cdot e^{K - 0,5K^2 - K_D + 0,5K_D^2}. \quad (2.28)$$

В конечном виде уравнение (2.28) примет вид:

$$t = t_D \cdot \exp(K - 0,5K^2 - K_D + 0,5K_D^2). \quad (2.29)$$

Для удобства восприятия выражение (2.29) запишется

$$t = t_D \cdot \exp(K - K_D + 0,5K_D^2 - 0,5K^2). \quad (2.30)$$

Определим прогнозное значение продолжительности межрегулировочного интервала консоли контактной сети, изготовленной и смонтированной для скоростей движения более 161 км/ч, которая должна быть точно установлена в проектное положение при заданных пределах, где коэффициент K , характеризующий точность установки консоли в проектное положение, равен единице ($K=1$).

Периодичность межрегулировочного интервала консоли (t_d) с отключением напряжения и верхолазными работами на основании [68] составляет 4 года. Коэффициент (K_d), учитывающий точность установки консоли в проектное положение с применением действующих технологий для скоростей движения свыше 200 км/ч, равен 0,1.

На рисунке 2.5 показано, как влияет установка консоли в допустимых пределах с применением консольных хомутов на продолжительность межрегулировочного интервала.

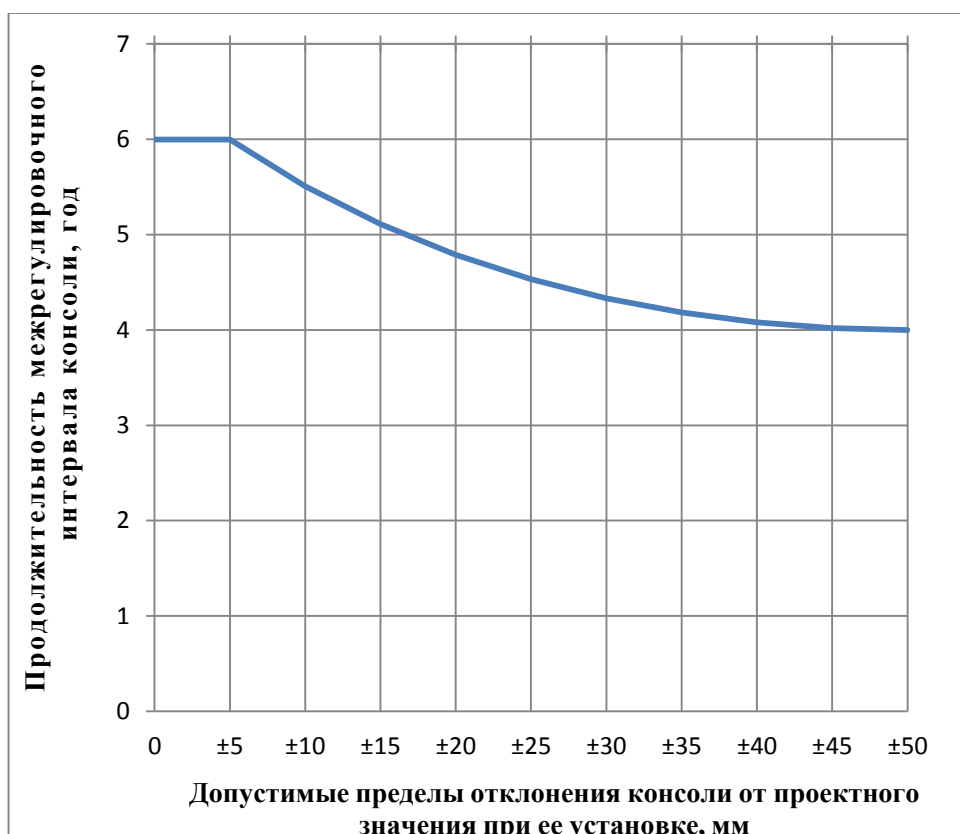


Рисунок 2.5 – Зависимость продолжительности межрегулировочного интервала консоли от допустимых норм по установке консольных хомутов в проектное положение

Расчет показывает, что продолжительность межрегулирующего интервала консолей контактной сети увеличивается на 2 года (с 4 до 6 лет), если при установке консоли допустимые пределы отклонения от проектного значения уменьшаются с ± 50 мм до ± 5 мм. Тогда по формуле (18) прогнозное значение межрегулирующего интервала консоли, установленной по технологиям, обеспечивающим должную точность, составляет 6 лет.

2.4 Разработка математической модели для определения статических параметров контактной подвески на протяжении жизненного цикла

Основными статическими параметрами контактной подвески являются:

- высота контактного провода от УГР;
- разница высот контактного провода от УГР в опорных узлах смежных опор.

При скоростном и высокоскоростном движении подвижного состава вышеперечисленные параметры подвески должны соблюдаться в соответствии с проектными нормами.

Разработанная математическая модель позволяет определить статические параметры контактной подвески на протяжении ее жизненного цикла. Алгоритм моделирования приведен в [89]. При разработке модели были приняты следующие допущения:

- конструктивная высота контактной подвески неизменна;
- консоль горизонтальная.

Запишем формулу для определения высоты контактного провода от УГР

$$H_{\text{КП}i} = H_{\text{НТ}i} - H_{\text{КВ}i}, \quad (2.31)$$

где $H_{\text{НТ}i}$ – высота несущего троса от УГР на i -ой опоре, мм; $H_{\text{КВ}i}$ – конструктивная высота контактной подвески на i -ой опоре, мм.

Поворотный зажим для крепления несущего троса монтируется на горизонтальный стержень консоли. Высота несущего троса от УГР рассчитывается относительно точки установки консолей по формуле

$$H_{\text{НТ}i} = H_{\text{НК}i} + H_{\text{Б}i} + H_{\text{ПЗ}i}, \quad (2.32)$$

где $H_{\text{НК}i}$ – расстояние от УГР до точки монтажа нижнего консольного хомута на i -ой опоре, мм; $H_{\text{Б}i}$ – база консоли (расстояние между верхним и нижним узлами крепления) на i -ой опоре, мм; $H_{\text{ПЗ}i}$ – высота поворотного зажима несущего троса на i -ой опоре, мм.

Подставив (2.32) в (2.31), получим формулу (2.33) для расчета высоты подвеса контактного провода с учетом установочных и геометрических параметров поддерживающих конструкций.

$$H_{\text{КП}i} = H_{\text{НК}i} + H_{\text{Б}i} + H_{\text{ПЗ}i} - H_{\text{КВ}i}. \quad (2.33)$$

Разница высот контактного провода от УГР в опорных узлах на смежных опорах запишется в следующем виде:

$$\Delta H_{\text{КП}i(i+2)} = H_{\text{КП}i} - H_{\text{КП}i\pm 2}, \quad (2.34)$$

где $H_{\text{КП}i}$ – высота контактного провода от УГР на i -ой опоре, мм; $H_{\text{КП}i\pm 2}$ – высота контактного провода от УГР на смежной опоре, мм ($i \pm 2 > 0$).

На рисунке 2.6 изображена консоль с обозначением геометрических параметров при вычислении математической модели.

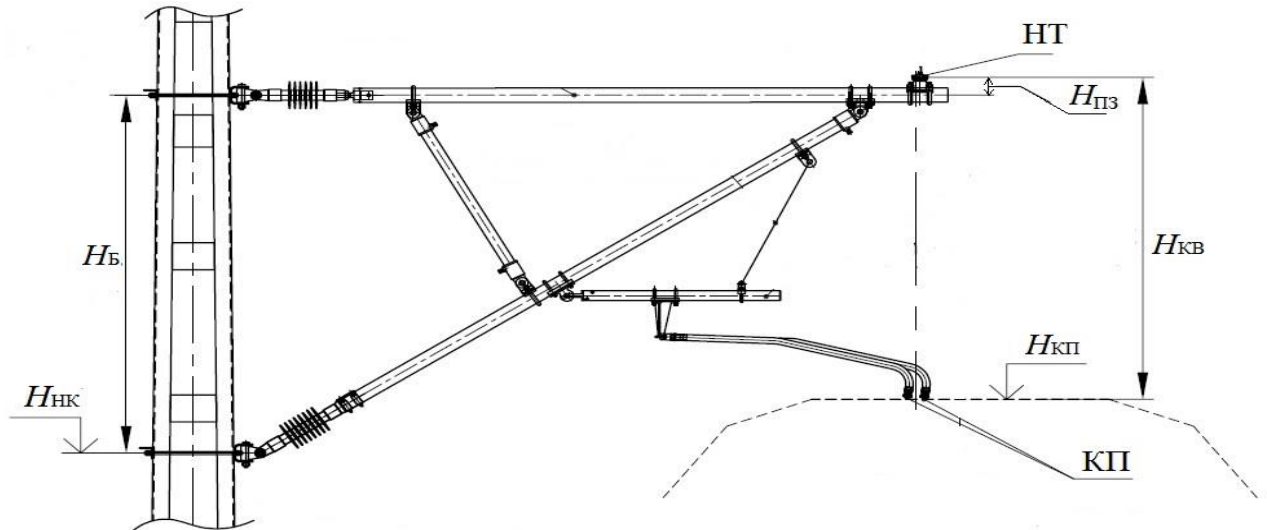


Рисунок 2.6 – Консоль контактной сети с геометрическими параметрами

Для того чтобы определить, как статические параметры контактной подвески изменяются с течением времени, был проведен анализ последовательности случайных событий, в которой вероятность любого события зависит от состояния, в котором объект находится в текущий момент, но не от более ранних состояний (цепь Маркова) [89]. В качестве исходных данных имеются результаты измерений расстояний от УГР до точки крепления консоли к опоре контактной сети. Измерения были выполнены на участке Свердловской железной дороги в 2014 и 2015 годах с периодичностью 1 раз в полугодие (ПРИЛОЖЕНИЕ А). Выборка измерений с однотипного участка пути производилась с 360 опор, таким образом, количество наблюдений равно 360. Имея полную выборку, построим гистограмму, которая отражает полученное распределение измерений. Так как точность монтажа консольных хомутов высокоскоростной подвески составляет ± 5 мм, то для наглядности принимаем длину интервалов, равной 1 см, то есть $\Delta X = 10$ мм. При этом минимальное расстояние от УГР до нижнего узла крепления консоли составляет 5650 мм, а максимальное — 5750 мм. Принимаем количество интервалов, равное 11, то есть $k = 11$. Полученные данные сведем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Число попаданий в интервал за 1-е полугодие 2014 года

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Расстояние от УГР до узла крепления консоли, мм | 5650 | 5660 | 5670 | 5680 | 5690 | 5700 | 5710 | 5720 | 5730 | 5740 | 5750 |
| Границы интервалов, мм | 5646- 5655 | 5656- 5665 | 5666- 5675 | 5676- 5685 | 5686- 5695 | 5696- 5705 | 5706- 5715 | 5716- 5725 | 5726- 5735 | 5736- 5745 | 5746- 5755 |
| № интервала, c | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Число попаданий в интервал, n_b | 9 | 40 | 30 | 60 | 69 | 48 | 36 | 27 | 12 | 20 | 9 |

Из таблицы 2.2 видно, что значения измерений меняются от 5646 мм до 5755 мм. Полученные 360 результатов (расстояний от уровня головки рельса до узла крепления консоли) находятся в рамках 11-ти интервалов [89]. Конкретное количество измерений, попавших в определенный интервал (n_b) также указано в таблице 2.2 и таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Число попаданий в интервал за 2-е полугодие 2014 года

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Расстояние от УГР до узла крепления консоли, мм | 5650 | 5660 | 5670 | 5680 | 5690 | 5700 | 5710 | 5720 | 5730 | 5740 | 5750 |
| Границы интервалов, мм | 5646- 5655 | 5656- 5665 | 5666- 5675 | 5676- 5685 | 5686- 5695 | 5696- 5705 | 5706- 5715 | 5716- 5725 | 5726- 5735 | 5736- 5745 | 5746- 5755 |
| № интервала, c | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Число попаданий в интервал, n_b | 10 | 38 | 37 | 57 | 66 | 51 | 32 | 27 | 15 | 19 | 8 |

На основе данных таблиц 2.2 и 2.3 построим гистограмму распределений полученных измерений в первом и втором полугодиях 2014 года (рисунок 2.7).

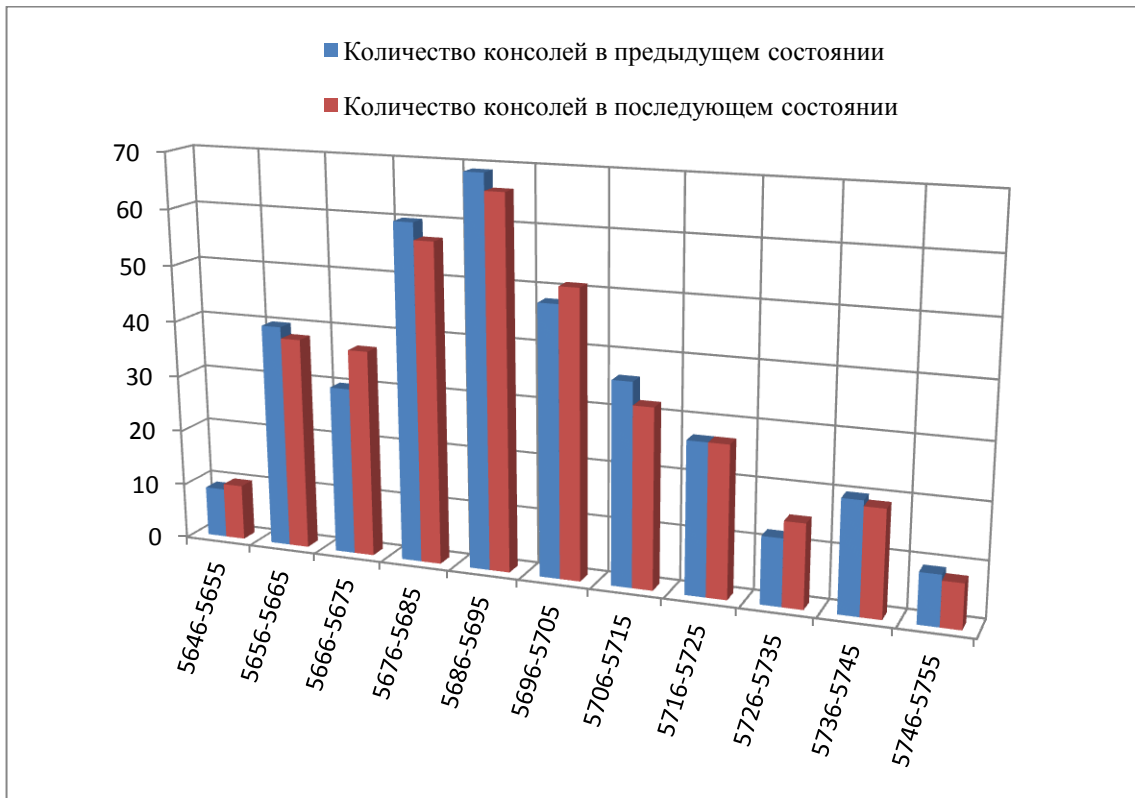


Рисунок 2.7 – Гистограмма распределения полученных измерений за первое и второе полугодия 2014 года

Из гистограммы (рисунок 2.7) и таблиц 2.2 и 2.3 видно, что на участке, состоящем из 360 опор, расстояния от уровня головки рельса до узла крепления консоли во 2-м полугодии изменились в сравнении с первым полугодием, поэтому число попаданий в конкретный интервал перераспределилось. Таким образом, видна прослеживаемость последовательности случайных событий, в которой вероятность каждого события зависит от состояния, в котором процесс находится только в настоящий момент и не зависит от более ранних состояний (цепь Маркова). В рассматриваемом примере переход из одного интервала в другой в течение 2014 года является одним событием.

Для того чтобы получить матрицу переходных вероятностей, необходимо получить результаты измерений в 1-м полугодии (предыдущее состояние) и во 2-м полугодии (последующее состояние). Переходная вероятность – условную вероятность такого события, при котором система перейдет из предшествующего состояния (b) в последующее состояние (c). По формуле (2.35) определяется вероятность перехода из состояния (b) в состояние (c) [78]:

$$P_{bc}(\tau) = \frac{n_{bc}(\tau)}{n_b(\tau-1)}, \quad (2.35)$$

где $n_{bc}(\tau)$ – число консолей, которое находится в состоянии (b) в момент $(\tau-1)$ и в состоянии (c) в моменты τ , $n_b(\tau-1)$ – число консолей, наблюдаемых в состоянии (b) в момент $(\tau-1)$.

Для наглядного восприятия составим матрицу переходных вероятностей для вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде обыкновенной дроби (таблица 2.4) и матрицу переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде десятичной дроби (таблица 2.5) [89]. В числителе записывается $n_{bc}(\tau)$, а в знаменателе $n_b(\tau-1)$. В таблице 2.5 значения матрицы переходных вероятностей в виде десятичной дроби, округлены до сотых таким образом, чтобы их сумма в строке равнялась единице.

Таблица 2.4 – Значения матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса из первого полугодия 2014 года во второе полугодие 2014 года (в виде обыкновенной дроби)

| Номер интервала, c | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Границы интервалов предыдущего состояния, мм | Границы интервалов текущего состояния, мм | | | | | | | | | | |
| | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| 5646-5655 | 6/9 | 3/9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5656-5665 | 4/40 | 32/40 | 4/40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5666-5675 | 0 | 3/30 | 27/30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5676-5685 | 0 | 0 | 6/60 | 51/60 | 3/60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5686-5695 | 0 | 0 | 0 | 6/69 | 60/69 | 3/69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5696-5705 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3/48 | 45/48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5706-5715 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3/36 | 29/36 | 3/36 | 1/36 | 0 | 0 |
| 5716-5725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3/27 | 21/27 | 3/27 | 0 | 0 |
| 5726-5735 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3/12 | 9/12 | 0 | 0 |
| 5736-5745 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2/20 | 16/20 | 2/20 |
| 5746-5755 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3/9 | 6/9 |

Таблица 2.5 – Значения матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса из первого полугодия 2014 года во второе полугодие 2014 года (в виде десятичной дроби)

| Номер интервала, с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Границы интервалов предыдущего состояния, мм | Границы интервалов текущего состояния, мм | | | | | | | | | | |
| | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| 5646-5655 | 0,67 | 0,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5656-5665 | 0,10 | 0,80 | 0,10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5666-5675 | 0 | 0,10 | 0,90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5676-5685 | 0 | 0 | 0,10 | 0,85 | 0,05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5686-5695 | 0 | 0 | 0 | 0,09 | 0,87 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5696-5705 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,06 | 0,94 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5706-5715 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,08 | 0,84 | 0,08 | 0 | 0 | 0 |
| 5716-5725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,11 | 0,78 | 0,11 | 0 | 0 |
| 5726-5735 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,75 | 0 | 0 |
| 5736-5745 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,10 | 0,80 | 0,10 |
| 5746-5755 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,33 | 0,67 |

Матрица переходных вероятностей $P = \{p_{bc}\}$ характеризует вероятность перехода из текущего состояния в последующее состояние, при этом сумма значений вероятностей переходов из одного состояния в другое должна равняться единице, а процесс в момент времени n оказывается в состоянии (c) [79]. Значение P_n можно получить при помощи формулы [79]:

$$P_n = P_1^n, \quad (2.36)$$

где P_n – матрица переходных вероятностей за n шагов; P_1 – матрица переходных вероятностей за один шаг.

Возведя полученную матрицу в квадрат, можно получить прогнозное значение расстояния от уровня головки рельса до узла крепления консоли через одно полугодие. Прогнозируемые значения матрицы переходных вероятностей положения консоли относительно уровня головки рельса (из второго полугодия 2014 г. в первое полугодие 2015 г.) представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Значения матрицы прогнозируемых переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса (из второго полугодия 2014 года в первое полугодие 2015 года)

| Номер интервала, с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Границы интервалов предыдущего состояния, мм | Границы интервалов текущего состояния, мм | | | | | | | | | | |
| | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| 5646-5655 | 0,48 | 0,49 | 0,03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5656-5665 | 0,15 | 0,68 | 0,17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5666-5675 | 0,01 | 0,17 | 0,82 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5676-5685 | 0 | 0,01 | 0,17 | 0,73 | 0,09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5686-5695 | 0 | 0 | 0,01 | 0,16 | 0,76 | 0,07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5696-5705 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,11 | 0,89 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5706-5715 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,14 | 0,72 | 0,13 | 0,01 | 0 | 0 |
| 5716-5725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 0,18 | 0,64 | 0,17 | 0 | 0 |
| 5726-5735 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,03 | 0,38 | 0,59 | 0 | 0 |
| 5736-5745 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,03 | 0,15 | 0,67 | 0,15 |
| 5746-5755 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,03 | 0,49 | 0,48 |

Для того чтобы спрогнозировать значение расстояния от уровня головки рельса до узла крепления консоли спустя еще одно полугодие, необходимо возвести матрицу приведенную в таблице 2.5, в третью степень или матрицу, приведенную в таблице 2.6, во вторую степень [89]. Полученную матрицу приведем ниже в виде десятичной дроби (таблица 2.7), округлив значения переходных вероятностей до сотых, чтобы их сумма в строке равнялась единице.

Необходимо сравнить матрицы из таблицы 2.6 и таблицы 2.7 с матрицами, полученными экспериментальным путем. Для этого потребуется определить значения переходных вероятностей из второго полугодия 2014 года в первое полугодие 2015 года, взяв значения измерений в первом полугодии 2015 года, приведенные в таблице 2.8.

Таблица 2.7 – Значения прогнозируемой матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса из первого полугодия 2015 года во второе полугодие 2015 года (в виде десятичной дроби)

| Номер интервала, с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Границы интервалов предыдущего состояния, мм | Границы интервалов текущего состояния, мм | | | | | | | | | | |
| | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| 5646-5655 | 0,31 | 0,57 | 0,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5656-5665 | 0,18 | 0,56 | 0,26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5666-5675 | 0,04 | 0,26 | 0,70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5676-5685 | 0 | 0,04 | 0,27 | 0,55 | 0,13 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5686-5695 | 0 | 0 | 0,04 | 0,24 | 0,60 | 0,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5696-5705 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,18 | 0,80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5706-5715 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,23 | 0,54 | 0,18 | 0,03 | 0 | 0 |
| 5716-5725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0,25 | 0,50 | 0,21 | 0 | 0 |
| 5726-5735 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 0,11 | 0,47 | 0,41 | 0 | 0 |
| 5736-5745 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 0,10 | 0,20 | 0,52 | 0,17 |
| 5746-5755 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,03 | 0,11 | 0,56 | 0,30 |

Таблица 2.8 – Число попаданий в интервал за 1-е полугодие 2015 года

| Расстояние от УГР до узла крепления консоли, мм | 5650 | 5660 | 5670 | 5680 | 5690 | 5700 | 5710 | 5720 | 5730 | 5740 | 5750 |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Границы интервалов, мм | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| № интервала, с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Число попаданий в интервал, n_b | 10 | 38 | 47 | 53 | 61 | 55 | 28 | 27 | 17 | 17 | 7 |

На основе данных (таблица 2.3 и таблица 2.8) построим гистограмму распределений полученных измерений во втором полугодии 2014 года и первом полугодии 2015 года (рисунок 2.8).

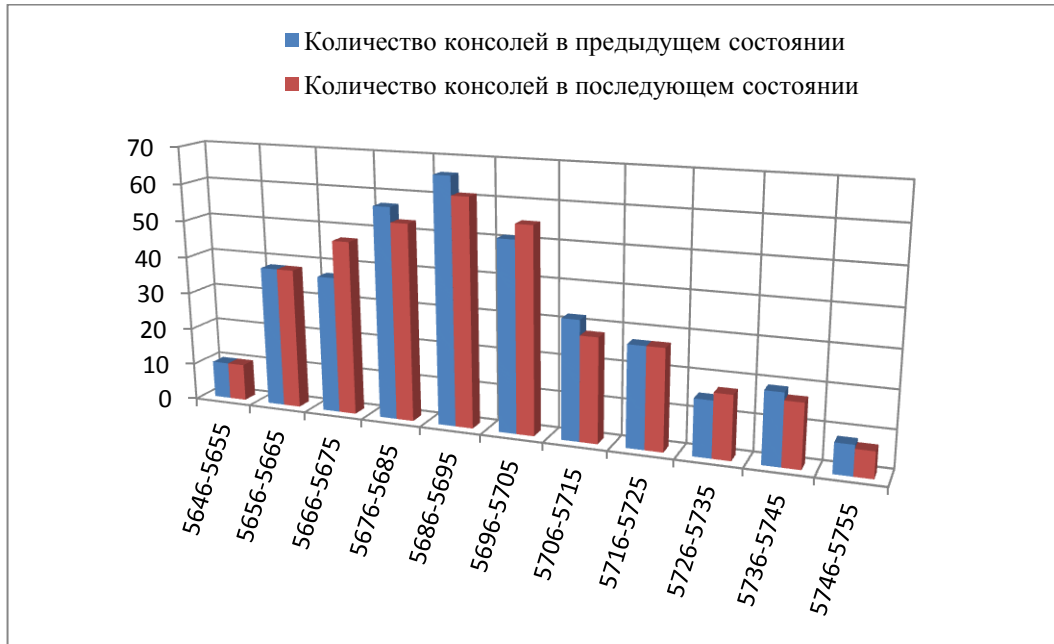


Рисунок 2.8 – Гистограмма распределения полученных измерений за второе полугодие 2014 года и первое полугодие 2015 года

Таблица 2.9 – Значения матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде обыкновенной дроби (из второго полугодия 2014 года в первое полугодие 2015 года)

| Номер интервала, с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Границы интервалов последующего состояния, мм | | | | | | | | | | |
| Границы интервалов предыдущего состояния, мм | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| 5646-5655 | 5/10 | 5/10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5656-5665 | 5/38 | 26/38 | 7/38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5666-5675 | 0 | 7/37 | 30/37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5676-5685 | 0 | 0 | 10/57 | 42/57 | 5/57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5686-5695 | 0 | 0 | 0 | 11/66 | 50/66 | 5/66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5696-5705 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6/51 | 45/51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5706-5715 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5/32 | 23/32 | 4/32 | 0 | 0 | 0 |
| 5716-5725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5/27 | 17/27 | 5/27 | 0 | 0 |
| 5726-5735 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6/15 | 9/15 | 0 | 0 |
| 5736-5745 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3/19 | 13/19 | 3/19 |
| 5746-5755 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4/8 | 4/8 |

В таблице 2.9 приведены значения переходных вероятностей из второго полугодия 2014 года в первое полугодие 2015 года, рассчитанных по формуле (2.35) в виде обыкновенных дробей.

В таблице 2.10 приведем значения матрицы переходных вероятностей (из второго полугодия 2014 года в первое полугодие 2015 года) вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде десятичной дроби.

Таблица 2.10 – Значения матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде десятичной дроби (из второго полугодия 2014 года в первое полугодие 2015 года)

| Номер интервала, с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Границы интервалов предыдущего состояния, мм | Границы интервалов последующего состояния, мм | | | | | | | | | | |
| | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| 5646-5655 | 0,50 | 0,50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5656-5665 | 0,13 | 0,69 | 0,18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5666-5675 | 0 | 0,19 | 0,81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5676-5685 | 0 | 0 | 0,18 | 0,73 | 0,09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5686-5695 | 0 | 0 | 0 | 0,17 | 0,75 | 0,08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5696-5705 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,12 | 0,88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5706-5715 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0,72 | 0,12 | 0 | 0 | 0 |
| 5716-5725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,19 | 0,63 | 0,18 | 0 | 0 |
| 5726-5735 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,40 | 0,60 | 0 | 0 |
| 5736-5745 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0,68 | 0,16 |
| 5746-5755 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,50 | 0,50 |

Зная значения измерений во втором полугодии 2015 года, приведем число попаданий в интервал в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Число попаданий в интервал за 2-е полугодие 2015 года

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Расстояние от УГР до узла крепления консоли, мм | 5650 | 5660 | 5670 | 5680 | 5690 | 5700 | 5710 | 5720 | 5730 | 5740 | 5750 |
| Границы интервалов, мм | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| № интервала, с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Число попаданий в интервал, n_b | 11 | 42 | 60 | 44 | 53 | 58 | 25 | 28 | 17 | 13 | 9 |

На рисунке 2.9 приведена гистограмма распределения полученных измерений за первое полугодие 2015 года и второе полугодие 2015 года.

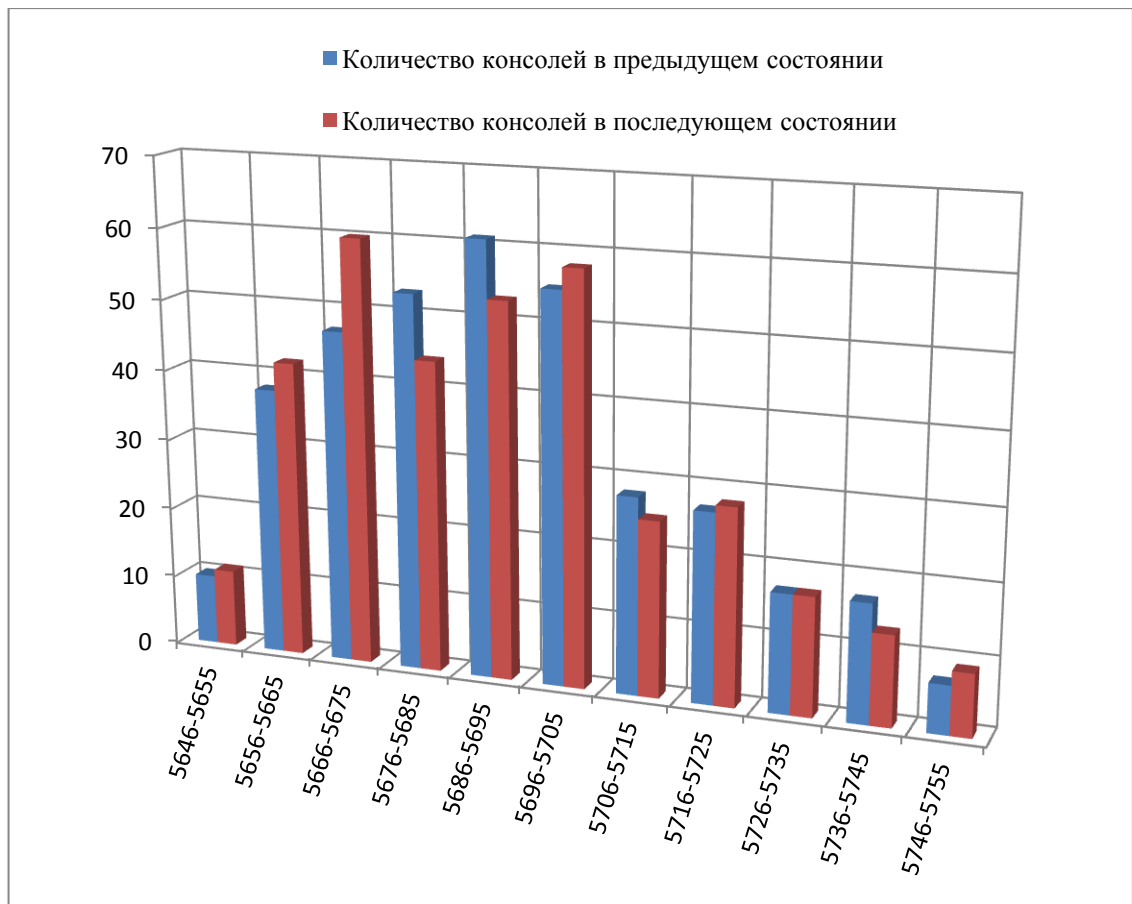


Рисунок 2.9 – Гистограмма распределения полученных измерений за первое и второе полугодия 2015 года

В таблице 2.12 приведены значения матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде обыкновенной дроби (из первого полугодия во второе полугодие 2015 года). В таблице 2.13 приведены значения матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде десятичной дроби (из первого полугодия во второе полугодие 2015 года).

Таблица 2.12 – Значения матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде обыкновенной дроби (из первого во второе полугодие 2015 года)

| Номер интервала, с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Границы интервалов предыдущего состояния, мм | Границы интервалов последующего состояния, мм | | | | | | | | | | |
| | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| 5646-5655 | 3/10 | 6/10 | 1/10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5656-5665 | 6/38 | 22/38 | 10/38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5666-5675 | 2/47 | 12/47 | 33/47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5676-5685 | 0 | 2/53 | 14/53 | 29/53 | 7/53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1/53 |
| 5686-5695 | 0 | 0 | 2/61 | 15/61 | 36/61 | 6/61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2/61 |
| 5696-5705 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10/55 | 44/55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1/55 |
| 5706-5715 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7/28 | 16/28 | 5/28 | 0 | 0 | 0 |
| 5716-5725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1/27 | 7/27 | 13/27 | 6/27 | 0 | 0 |
| 5726-5735 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2/17 | 8/17 | 7/17 | 0 | 0 |
| 5736-5745 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2/17 | 3/17 | 9/17 | 3/17 |
| 5746-5755 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1/7 | 4/7 | 2/7 |

В итоге получаются две матрицы с значениями переходных вероятностей: одна получена экспериментально (таблица 2.13), при помощи натуральных измерений, другая – прогнозируемая (таблица 2.7), вычисленная путем возведения в третью степень исходной матрицы (таблица 2.5). Расхождения значений переходных вероятностей прогнозируемой и экспериментальной матриц не превысили 0.03, поэтому результаты, полученные математическим моделированием при помощи Марковского процесса, можно считать достоверными.

Таблица 2.13 – Значения матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде десятичной дроби (из первого полугодия во второе полугодие 2015 года)

| Номер интервала, с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Границы интервалов предыдущего состояния, мм | Границы интервалов последующего состояния, мм | | | | | | | | | | |
| | 5646-5655 | 5656-5665 | 5666-5675 | 5676-5685 | 5686-5695 | 5696-5705 | 5706-5715 | 5716-5725 | 5726-5735 | 5736-5745 | 5746-5755 |
| 5646-5655 | 0,30 | 0,60 | 0,10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5656-5665 | 0,16 | 0,58 | 0,26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5666-5675 | 0,04 | 0,26 | 0,70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5676-5685 | 0 | 0,04 | 0,26 | 0,55 | 0,13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 |
| 5686-5695 | 0 | 0 | 0,03 | 0,25 | 0,59 | 0,10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| 5696-5705 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,18 | 0,80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 |
| 5706-5715 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,25 | 0,57 | 0,18 | 0 | 0 | 0 |
| 5716-5725 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0,26 | 0,48 | 0,22 | 0 | 0 |
| 5726-5735 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,12 | 0,47 | 0,41 | 0 | 0 |
| 5736-5745 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,11 | 0,18 | 0,53 | 0,18 |
| 5746-5755 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,14 | 0,57 | 0,29 |

Если переходная вероятность $p_{bc} = 1$, это означает, что с течением времени установочные параметры консоли остаются неизменными. При $0 < p_{bc} < 1$ расстояние от УГР до точки монтажа нижнего консольного хомута будет вычисляться по формуле

$$H_{HKi} = H_{HKi(min)} + (c - 1) \cdot \Delta X, \quad (2.37)$$

где $H_{HKi(min)}$ – минимальное расстояние от УГР до точки монтажа нижнего консольного хомута на i -ой опоре, мм; c – номер интервала текущего состояния, соответствующий переходной вероятности p_{bc} ; ΔX – длина интервала, мм.

Возводя в степень исходную матрицу переходных вероятностей, появляется возможность определить значение минимального расстояния от УГР до точки монтажа нижнего консольного хомута на конкретной опоре в интересующий момент времени. Подставив (2.37) в (2.33), получим итоговую математическую мо-

дель для определения высоты контактного провода от УГР с учетом возвышения рельса

$$H_{\text{КП}i}(t) = H_{\text{НК}i(\text{min})}(t) + (c - 1) \cdot \Delta X(t) + H_{\text{Б}i}(t) + H_{\text{ПЗ}i}(t) - H_{\text{КВ}i}(t) + h_{\text{р}}, \quad (2.38)$$

где t – момент времени, принятый за расчетный период, год (квартал, месяц, полугодие); $h_{\text{р}}$ – возвышение рельса (имеет знак «+», если левый рельс выше правого при рассмотрении пути по ходу возрастания пикетажа, знак «-», если правый рельс выше левого).

Расчет разницы высот контактного провода от УГР на смежных опорных узлах запишется в следующем виде

$$\Delta H_{\text{КП}i}(t) = H_{\text{КП}i}(t) - H_{\text{КП}i\pm 2}(t). \quad (2.39)$$

Также в приведенной математической модели учтен угол наклона опоры. На рисунке 2.10 приведена опора контактной сети без наклона, а на рисунке 2.11 показана опора контактной сети, которая наклонена в сторону поля. При этом угол наклона влияет на статические параметры контактной подвески.

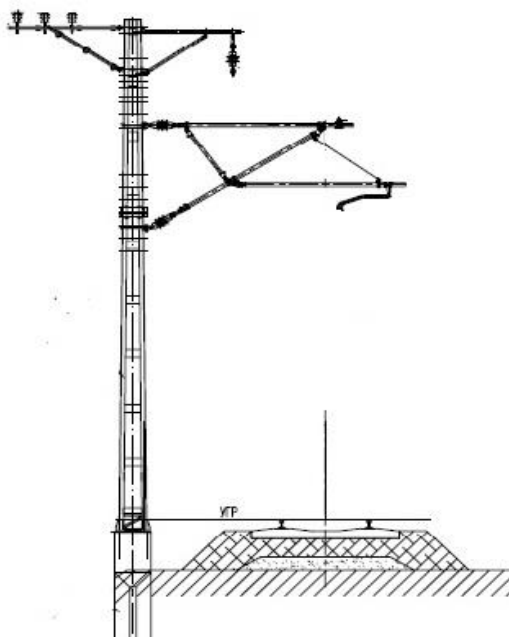


Рисунок 2.10 – Опора не наклонена

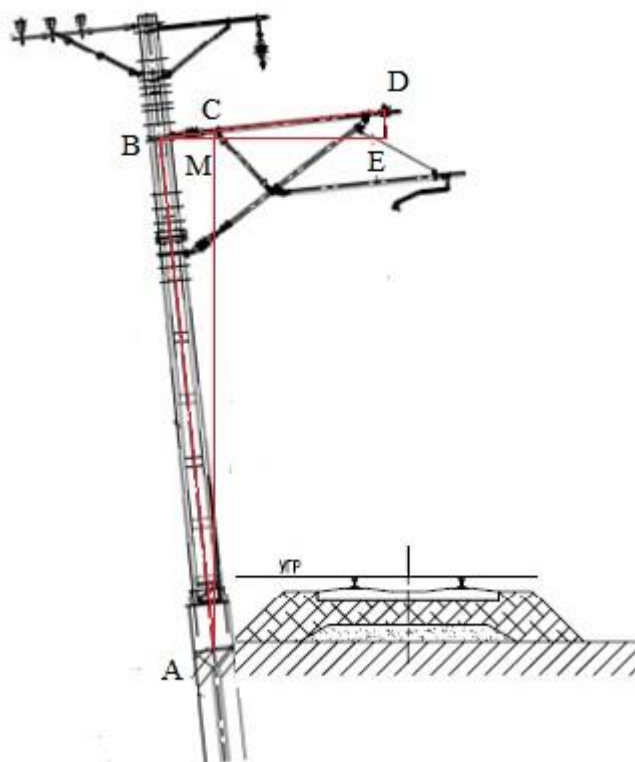


Рисунок 2.11 – Опора наклонена в сторону поля

При сравнении рисунка 2.10 и 2.11 видно, как точка крепления несущего троса (D) меняет свое положение по высоте на величину, равную длине отрезка DE . На рисунке 2.11 красными линиями выделены три прямоугольных треугольника: первый — $\triangle ABC$ ($\sphericalangle B = 90^\circ$), второй — $\triangle BED$ ($\sphericalangle E = 90^\circ$), третий — $\triangle BMC$ ($\sphericalangle M = 90^\circ$). Для наглядности на рисунке 2.12 приведено расположение данных треугольников относительно друг друга. У треугольников BED и BMC : $\sphericalangle M = \sphericalangle E = 90^\circ$, а угол B — общий. Следовательно, $\sphericalangle C = \sphericalangle D$. У треугольников ABC и BED : $\sphericalangle B = \sphericalangle E = 90^\circ$. Доказано ранее, что $\sphericalangle C = \sphericalangle D$. Значит, $\sphericalangle A = \sphericalangle B$, при этом $\sphericalangle A$ — угол наклона опоры, который для удобства обозначим α . Катет DE прямоугольного треугольника BED является величиной, на которую изменяется точка подвеса несущего троса относительно УГР ввиду наклона опоры в сторону поля. Гипотенуза BD треугольника BED — расстояние от центральной оси опоры до точки крепления несущего троса вдоль горизонтального стержня консоли.

Составим уравнение для определения изменения высоты подвеса несущего троса вследствие наклона опоры:

$$h_{\text{у.поле}} = L_{\text{кон.}} \cdot \sin\alpha, \quad (2.40)$$

где $L_{\text{кон.}}$ – расстояние от центральной оси опоры до точки крепления несущего троса вдоль горизонтального стержня консоли, мм; α – угол наклона опоры, градусы.

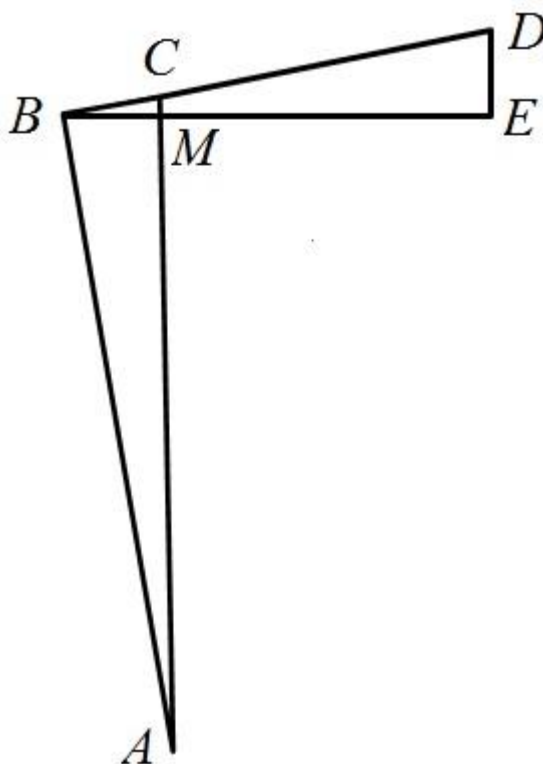


Рисунок 2.12 – Схема расположения прямоугольных треугольников

На основании [65] для скоростных участков контактной сети наклон опоры в сторону пути не допускается, а наклон опор в сторону поля и вдоль пути не должен превышать 0,5 % на всю длину опоры. Приведем формулу для перевода углов наклона из процентов в градусы:

$$\alpha_{\text{град.}} = \arctg(\alpha_{\text{проц.}} / 100\%), \quad (2.41)$$

где $\alpha_{\text{проц.}}$ – угол наклона опоры, %.

Подставив формулу (2.40) в уравнение (2.38), получим итоговую математическую модель для определения высоты контактного провода от УГР с учетом угла отклонения опоры в сторону поля:

$$H_{\text{КП}i}(t) = H_{\text{НК}i(\text{min})}(t) + (c - 1) \cdot \Delta X(t) + H_{\text{Б}i}(t) + H_{\text{ПЗ}i}(t) + h_{\text{у.поле}} - H_{\text{КВ}i}(t) + h_{\text{р}}. \quad (2.42)$$

Для того чтобы учесть в математической модели угол наклона опоры вдоль пути обратимся к рисунку 2.13, на котором изображена наклонившаяся вдоль пути опора.

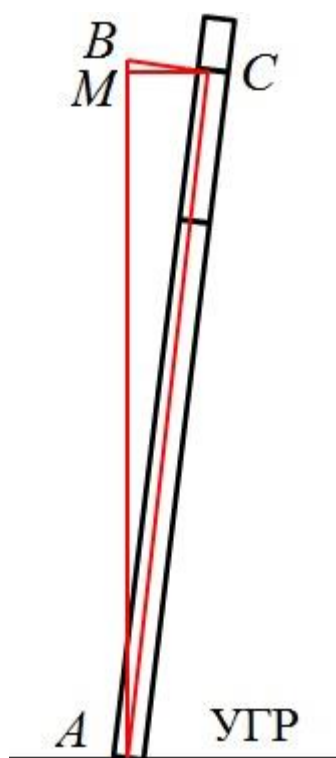


Рисунок 2.13 – Опора, наклонившаяся вдоль пути

Если опора на рисунке 2.13 наклонится влево, то рисунок будет изображен зеркально. Расстояние от УГР до точки крепления несущего троса на консоли при прямой опоре равно AB , а при наклонившейся — AC . Наклон опоры образует равнобедренный треугольник ABC и прямоугольные треугольники BMC и AMC , где катет BM — значение изменения высоты подвеса несущего троса вследствие

наклона опоры. Для наглядности на рисунке 2.14 приведено отдельное изображение равнобедренного треугольника ABC .

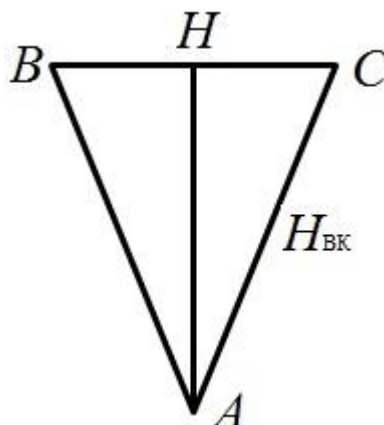


Рисунок 2.14 – Равнобедренный треугольник ABC

В треугольнике ABC проведем биссектрису AH , которая делит угол наклона опоры (α) пополам, в равнобедренном треугольнике она является медианой и высотой, а также образует прямоугольный треугольник AHC . Отрезок AH определяется по формуле:

$$AH = H_{BK} \cdot \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (2.43)$$

где H_{BK} – боковая сторона AC равнобедренного треугольника ABC , равная расстоянию от УГР до точки крепления несущего троса на консоли, мм.

Запишем формулу для расчета катета HC прямоугольного треугольника AHC :

$$HC = \sqrt{H_{BK}^2 - (H_{BK} \cdot \cos \frac{\alpha}{2})^2}, \quad (2.44)$$

где H_{BK} – боковая сторона AC равнобедренного треугольника ABC , равная расстоянию от УГР до точки крепления несущего троса на консоли, мм; α – угол наклона опоры, градусы.

Основание BC равнобедренного треугольника запишется следующим образом:

$$BC = 2 \cdot HC = 2 \sqrt{H_{BK}^2 - (H_{BK} \cdot \cos \frac{\alpha}{2})^2}. \quad (2.45)$$

Запишем формулу для расчета катета MC прямоугольного треугольника AMC :

$$MC = H_{BK} \cdot \sin \alpha, \quad (2.46)$$

где H_{BK} – боковая сторона AC равнобедренного треугольника ABC , равная расстоянию от УГР до точки крепления несущего троса на консоли, мм; α – угол наклона опоры, градусы.

Запишем формулу для расчета катета BM прямоугольный треугольник BMC

$$BM = \sqrt{BC^2 - MC^2}, \quad (2.47)$$

где BC – гипотенуза прямоугольного треугольника BMC , мм; MC – катет прямоугольного треугольника BMC , мм.

Подставив формулы (2.45) и (2.46) в (2.47), получим значение изменения высоты подвеса несущего троса вследствие наклона опоры вдоль пути:

$$h_{у.вдоль} = \sqrt{4[H_{BK}^2 - (H_{BK} \cdot \cos \frac{\alpha}{2})^2] - (H_{BK} \cdot \sin \alpha)^2}. \quad (2.48)$$

Введя формулу (2.48) в уравнении (2.38), получим итоговую математическую модель для определения высоты контактного провода от УГР с учетом угла отклонения опоры вдоль пути:

$$H_{\text{КП}i}(t) = H_{\text{НК}i(\text{min})}(t) + (c - 1) \cdot \Delta X(t) + H_{\text{Б}i}(t) + H_{\text{ПЗ}i}(t) - h_{\text{у.вдоль}} - H_{\text{КВ}i}(t) + h_{\text{р}}, \quad (2.49)$$

Проанализировав таблицы 2.4, 2.5 и 2.6, в которых вероятность каждого события зависит только от состояния, в котором процесс находится в текущий момент, появляется возможность спрогнозировать, на каком расстоянии от уровня головки рельса окажется консоль на опоре контактной сети в заданный момент времени. Получив номер интервала, которому соответствует переходная вероятность, можно вычислить статические параметры контактной подвески при помощи формул (2.49, 2.42 и 2.39). Применяя данный математический аппарат, появляется возможность спрогнозировать какое количество консолей контактной сети выйдет за рамки допустимых норм по разрегулировке:

$$n_{\text{разрег.}} = p_{bc} \cdot n(\tau - 1). \quad (2.50)$$

Зная количество разрегулированных консолей, можно вычислить эксплуатационные затраты для обеспечения требуемых статических параметров скоростных и высокоскоростных контактных подвесок.

Задаваясь конкретным размером интервала времени, при помощи данной математической модели можно определить период, когда статические параметры контактной подвески выйдут за рамки допустимых норм в соответствии с проектом и потребуется произвести ее вертикальную регулировку.

Для того чтобы учесть влияние изменения угла наклона опоры с течением времени, необходимо воспользоваться математическими расчетами, приведенными в [78].

Расхождения между значениями статических параметров контактной подвески, полученные экспериментальным путем и при помощи моделирования, не должны превышать 3 %. Имеются две матрицы с переходными вероятностями: одна получена экспериментально (таблица 2.10), при помощи натуральных измерений, другая матрица – прогнозируемая (таблица 2.6), которая получена путем возведения во вторую степень исходной матрицы (таблица 2.5). Сравнивая дан-

ные матрицы, можно сделать вывод, что расхождение значений переходных вероятностей не превышает 0.03, что соответствует 3 %. Анализ матриц с переходными вероятностями, полученную экспериментально (таблица 2.13), и матрицу, полученную при помощи расчетов (таблица 2.7), приводит к выводу, что расхождение значений переходных вероятностей также не превышает 0.03, что соответствует 3 %.

При построении предложенной математической модели использовались экспериментальные значения параметров контактной подвески для скорости движения подвижного состава до 160 км/ч включительно. При применении данного математического аппарата на скоростных и высокоскоростных участках контактной подвески методика расчета статических параметров не поменяется.

Допускаемое отклонение статических параметров контактной подвески до 160 км/ч от проектного положения по высоте опоры не должно превышать 50 мм. По формулам (2.34) и (2.49) произведем расчет статических параметров контактной подвески, полученных при помощи моделирования под опорами № 11 и № 13 в 1-ом полугодии 2015 года. Границы интервалов в изначальном состоянии консоли на опоре № 11, то есть в 1-ом полугодии 2014 года варьировались от 5736 мм до 5745 мм (ПРИЛОЖЕНИЕ А). Для данных границ интервала наибольшая переходная вероятность в строке из табл. 2.6 равна 0,67 ($p_{bc} = 0,67$), что соответствует 10 номеру интервала ($c = 10$). По формуле (2.49) произведем расчет высоты контактного провода от УГР для 11 опоры в 1-ом полугодии 2015 года с учетом того, что $H_{НК11(min)} = 5650$ мм, $\Delta X = 10$ мм, $H_{Б11} = 2000$ мм, $H_{П311} = 100$ мм, $h_{у.вдоль} = 0$ мм, $H_{КВ11} = 1800$ мм, $h_p = 0$ мм. Таким образом, высоты контактного провода от УГР для 11 опоры составляет 6040 мм ($H_{КП11} = 6040$ мм). Границы интервалов предыдущего состояния консоли на опоре № 13 в 1-ом полугодии 2014 года варьируется от 5656 мм до 5665 мм (ПРИЛОЖЕНИЕ А). Для данных границ интервала наибольшая переходная вероятность в строке из табл. 2.6 равна 0,68 ($p_{bc} = 0,68$), что соответствует 2 номеру интервала ($c = 2$). С учетом того, что $H_{НК13(min)} = 5650$ мм, $\Delta X = 10$ мм, $H_{Б13} = 2000$ мм, $H_{П313} = 100$ мм, $h_{у.вдоль} = 0$ мм, $H_{КВ13} = 1800$ мм, $h_p = 0$ мм, по формуле (2.49) высота контактного провода от УГР

для 13 опоры в 1-ом полугодии 2015 года составляет 5960 мм ($H_{КП13} = 5960$ мм). По формуле (2.34) в 1-ом полугодии 2015 года разница высот контактного провода от УГР на смежных опорных узлах составляет 80 мм ($\Delta H_{КП11(13)} = 80$ мм).

Высота контактного провода от УГР для 11 опоры, полученная экспериментально в 1-ом полугодии 2015 года, составляет 6050 мм ($H_{КП11} = 6050$ мм). Высота контактного провода от УГР для 13 опоры, полученная экспериментально в 1-ом полугодии 2015 года, составляет 5960 мм ($H_{КП13} = 5960$ мм). По формуле (2.34) в 1-ом полугодии 2015 года разница высот контактного провода от УГР на смежных опорных узлах, полученная экспериментально, составляет 90 мм ($\Delta H_{КП11(13)} = 90$ мм).

Таким образом, максимальное расхождение между значениями статических параметров контактной подвески в 1-ом полугодии 2015 года, полученных при помощи моделирования и экспериментально, составляет 10 мм, что не превышает допустимое значение — 50 мм.

По формулам (2.34) и (2.49) произведем расчет статических параметров контактной подвески, полученных при помощи моделирования под опорами № 11 и № 13 во 2-ом полугодии 2015 года. Границы интервалов изначального состояния консоли на опоре № 11 в 1-ом полугодии 2014 года варьировались от 5736 мм до 5745 мм (ПРИЛОЖЕНИЕ А). Для данных границ интервала наибольшая переходная вероятность в строке из таблицы 2.7 равна 0,52 ($p_{bc} = 0,52$), что соответствует 10 номеру интервала ($c = 10$). С учетом того, что $H_{НК11(min)} = 5650$ мм, $\Delta X = 10$ мм, $H_{Б11} = 2000$ мм, $H_{П311} = 100$ мм, $h_{у.вдоль} = 0$ мм, $H_{КВ11} = 1800$ мм, $h_p = 0$ мм, по формуле (2.49) высота контактного провода от УГР для 11 опоры во 2-м квартале 2015 составляет 6040 мм ($H_{КП11} = 6040$ мм). Границы интервалов предыдущего состояния опоры № 13 в 1-ом полугодии 2014 года варьировались от 5656 мм до 5665 мм (ПРИЛОЖЕНИЕ А). Для данных границ интервала наибольшая переходная вероятность в строке из таблицы 2.7 равна 0,56 ($p_{bc} = 0,56$), что соответствует 2 номеру интервала ($c = 2$). С учетом того, что $H_{НК13(min)} = 5650$ мм, $\Delta X = 10$ мм, $H_{Б13} = 2000$ мм, $H_{П313} = 100$ мм, $h_{у.вдоль} = 0$ мм, $H_{КВ13} = 1800$ мм, $h_p = 0$ мм, по формуле (2.49) высота контактного провода от УГР

для 13 опоры во 2-ом полугодии 2015 года составляет 5960 мм ($H_{\text{КП13}} = 5960$ мм). По формуле (2.34) во 2-ом полугодии 2015 года разница высот контактного провода от УГР в опорных узлах на смежных опорах составляет 80 мм ($\Delta H_{\text{КП11(13)}} = 80$ мм).

Высота контактного провода от УГР для 11 опоры, полученная экспериментально во 2-ом полугодии 2015 года, составляет 6044 мм ($H_{\text{КП11}} = 6044$ мм). Высота контактного провода от УГР для 13 опоры, полученная экспериментально во 2-ом полугодии 2015 года, составляет 5954 мм ($H_{\text{КП11}} = 5954$ мм). По формуле 2.34 во 2-ом полугодии 2015 года разница высот контактного провода от УГР в опорных узлах на смежных опорах, полученная экспериментально, составляет 90 мм ($\Delta H_{\text{КП11(13)}} = 90$ мм).

Максимальное расхождение между значениями статических параметров контактной подвески во 2-ом полугодии 2015 года, полученных при помощи моделирования и экспериментально, составляет 10 мм, что не превышает допустимое значение — 50 мм.

Таким образом, прогнозируемые и экспериментальные значения переходных вероятностей и статических параметров контактной подвески совпали в пределах допуска, поэтому результаты, которые получены при помощи математической модели с применением Марковского процесса, можно считать достаточно достоверными.

Выводы по второй главе

1. Обеспечение требуемых статических параметров контактной подвески на протяжении жизненного цикла, согласно утвержденной нормативно-технической документации, позволяет предотвратить риск задержки поездов.

2. Приведенный расчет продолжительности жизненного цикла, как отдельных элементов контактной сети, так и системы в целом, позволяет определять рациональный срок, на который следует заключить контракт жизненного цикла.

3. Разработана математическая модель, при помощи которой можно рассчитать оптимальный межрегулируемый интервал консолей контактной сети, с учетом количественного влияния точности установки консольных хомутов в проектное положение.

4. Разработана математическая модель, позволяющая определить период времени, в течение которого статические параметры контактной подвески выходят за рамки допустимых норм при ее эксплуатации на скоростных и высокоскоростных участках, и требуется произвести вертикальную регулировку всей контактной подвески.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УСТАНОВКИ КОНСОЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ

От точности установки поддерживающих конструкций (консолей) контактной подвески на этапе монтажных работ зависит стабильность статических параметров контактной подвески на последующих этапах ее жизненного цикла. С повышением скоростей движения поездов допустимые нормы отклонения консоли от проектного положения по высоте опоры уменьшаются. В связи с этим повышается трудоемкость при установке консолей. Для того чтобы этого избежать требуется применять модернизированные технологии производства монтажных работ [60].

3.1 Разработка методики экспериментального определения статических параметров контактной подвески

Постоянство статических параметров контактной подвески напрямую зависит от точной установки ее поддерживающих конструкций в соответствии с нормативно-технической документацией. Разработанная технология установки консолей на опору, предложенная в [66], основывается на методике проведения эксперимента, который реализуется в четыре этапа. На первом этапе потребуется спроецировать УГР в точку Т1 на опоре (рисунок 3.1). При этом необходимо воспользоваться оптическим дальномером, расположив его строго горизонтально, или строительным уровнем, приложенным непосредственно к опоре. Данная точ-

ка фиксируется на опоре и служит началом отсчета для проведения дальнейших измерений. методика экспериментального определения статических параметров контактной подвески

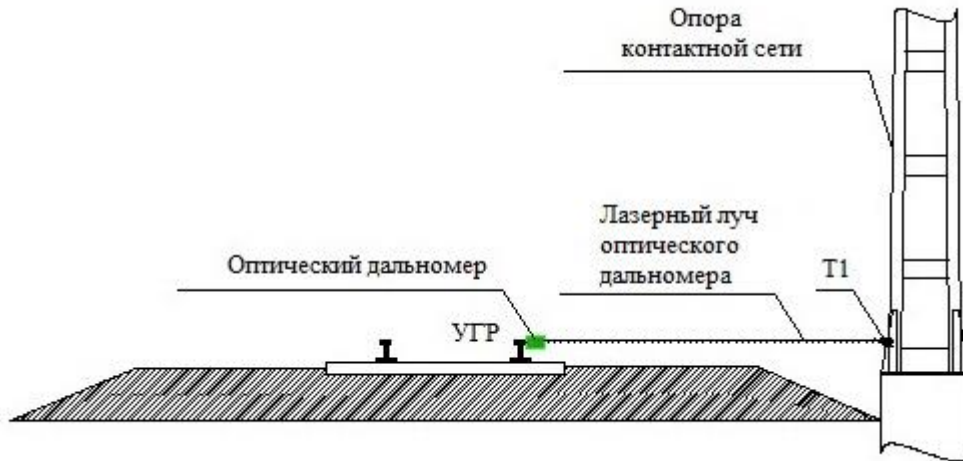


Рисунок 3.1 – Проецирование уровня головки рельса

При проецировании УГР учитывается возвышение рельса у опоры, при этом значение возвышения имеет знак «+», если левый рельс выше правого при рассмотрении пути по ходу возрастания пикетажа, знак «-», если правый рельс выше левого.

На втором этапе измеряется расстояние от точки T1 (УГР) до места установки верхнего хомута консоли (точка T2). Ввиду того, что при реконструкции или строительстве новых железнодорожных магистралей в России применяются металлические опоры, имеющие с одной стороны пирамидальную форму, а с другой прямоугольную, то проведение измерений следует производить с прямоугольной стороны (рисунок 3.2). Для этого необходимо перенести точку T1 на смежную грань опоры при помощи строительного уровня и зафиксировать в виде точки T1'. Затем верхний узел крепления консоли монтируется на опоре в точке T2. Расстояние между точками T1' и T2 берется из утвержденного проекта и измеряется оптическим дальномером, точность которого составляет ± 1 мм. Во время проведения измерений оптический дальномер следует располагать вертикально, не наклоняя его в стороны.

При установке консоли на конусной железобетонной опоре измерения проводят только от точки T1, определять точку T1' не требуется.

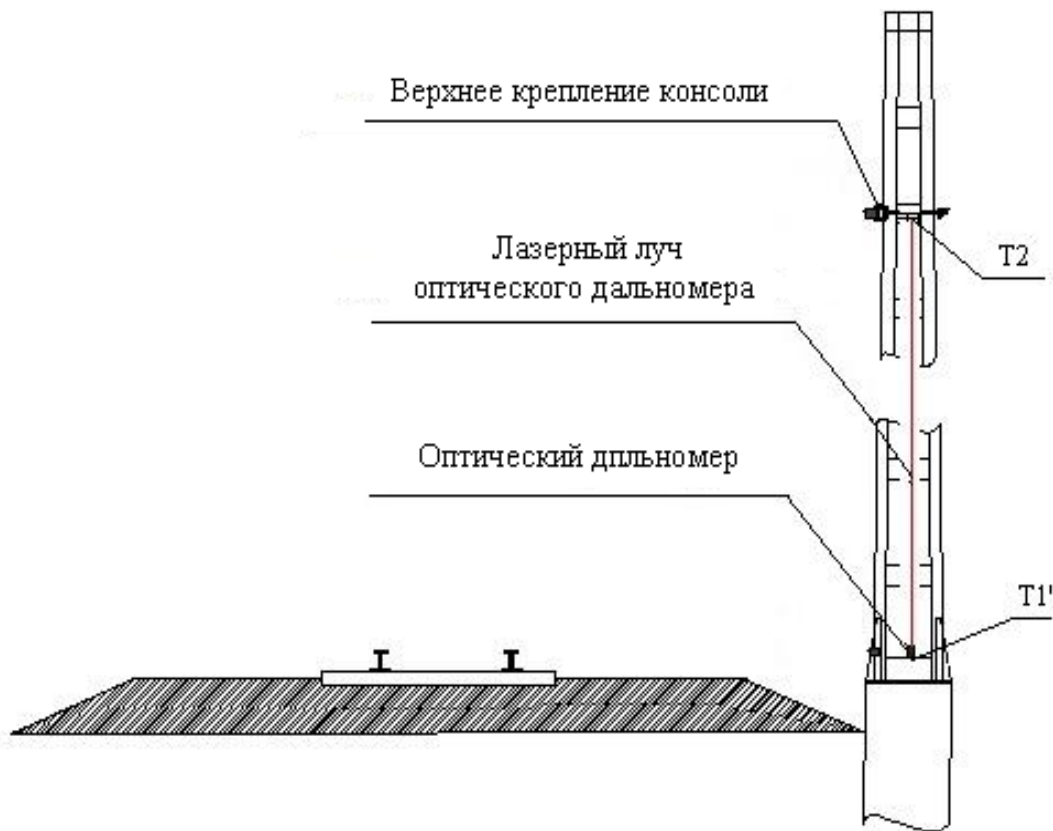


Рисунок 3.2 – Процесс проведения измерений для верхнего крепления консоли

На третьем этапе делаются аналогичные измерения от точки T1 до места крепления нижнего хомута консоли. Нижний хомут монтируется таким же способом, что и верхний.

Следуя инструкции по эксплуатации оптического дальномера, рекомендуется производить трехкратные измерения для того, чтобы исключить появление случайных погрешностей.

На четвертом этапе предварительно собранная консоль поднимается и устанавливается на опору в хомуты, которые были выставлены в соответствии с проектом на первых трех этапах монтажных работ (рисунок 3.3).

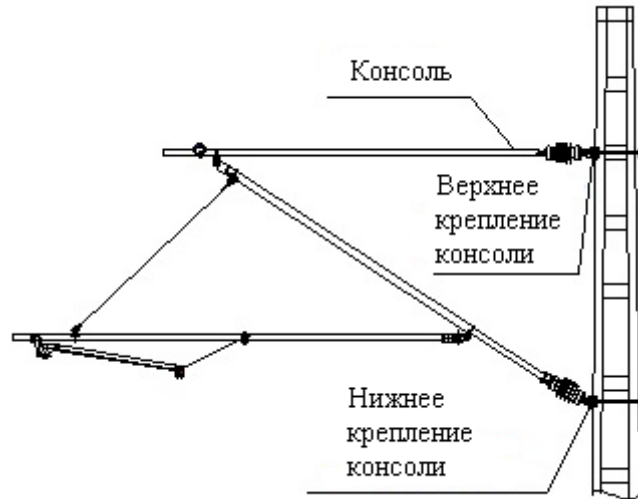


Рисунок 3.3 – Установка консоли в предварительно смонтированные хомуты

Установка консолей на опоре контактной сети, выполненная по предложенной технологии, имеет ряд преимуществ:

- конструктивная высота и эластичность контактной подвески остаются неизменными за счет точной установки поддерживающих конструкций в проектное положение;
- предложенную технологию можно использовать как при реконструкции имеющихся участков контактной подвески, так и при строительстве новых скоростных и высокоскоростных магистралей;
- монтаж подготовленных к установке составных частей (консоль и хомуты) требует меньших затрат времени и повышает безопасность работ на высоте;
- дополнительная регулировка положения поддерживающих конструкций по высоте опоры не требуется.

Так как при применении горизонтальных консолей, конструктивная высота контактной подвески остается неизменной, то применяя формулы (2.33) и (2.34) появляется возможность экспериментально определить значения статических параметров контактной подвески.

Таким образом, на основании разработанной выше методики, была предложена технологическая карта армировки установленной опоры (ПРИЛОЖЕНИЕ Б). Установка консолей на участке контактной сети Свердловской железной доро-

ги производилась по данной технологической карте. Получены: патент на изобретение (ПРИЛОЖЕНИЕ В) и акты о внедрении результатов научно-исследовательской работы (ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

3.2 Испытание разработанной технологии установки консолей

При скорости движения 200 км/ч (55,56 м/с) за одну секунду электроподвижной состав проходит в среднем один пролет. Применение мерных струн, поворотных консолей и компенсирующих устройств в зависимости от температуры окружающей среды обеспечивает равномерную эластичность контактной подвески по всей длине пролета. Таким образом, «жесткие» точки возникают только тогда, когда в опорных узлах на смежных опорах имеется разница высот контактного провода от УГР, которая превышает нормируемые значения для данного скоростного режима. Для того чтобы этого избежать, потребуется обеспечить параметры контактной подвески, соответствующие утвержденной нормативно-технической документации.

Основным статическим параметром контактной подвески является номинальная высота рабочего контактного провода от уровня головки рельса. Допускаемое отклонение номинальной высоты контактного провода -0 мм и $+20$ мм, принятое в соответствии с [67, 86], должно строго контролироваться при монтаже, так как это имеет принципиальное значение для обеспечения качественного токосъема при скоростном движении. При этом допустимая разница высот контактного провода от уровня головки рельса в опорных узлах на смежных опорах должно составлять ± 10 мм. Точная установка консоли по высоте опоры позволяет укладываться в приведенные выше рамки по расстоянию от УГР до контактного провода.

Для оценки эффективности разработанной технологии установки консолей были подготовлены следующие исходные данные. Рассмотрен анкерный участок контактной подвески длиной $L = 1580$ м, на котором при реконструкции были заменены консоли с использованием технологии, разработанной автором. Также были рассмотрены два аналогичных участка контактной подвески, на которых консоли устанавливались по технологиям, приведенным в [62] и [64]. По результатам измерений получены данные высоты подвеса контактного провода от уровня головки рельса (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Значения измерений высоты контактного провода от уровня головки рельса

| № опоры | Высота контактного провода от УГР, мм | | | |
|---------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------|
| | При использовании утвержденной технологической карты | При использовании технологии подрядных организаций | Проектное значение | При использовании технологии, разработанной автором |
| 1 | 6200 | 6150 | 6200 | 6210 |
| 3 | 6150 | 6120 | 6200 | 6200 |
| 5 | 6190 | 6170 | 6200 | 6210 |
| 7 | 6290 | 6190 | 6200 | 6210 |
| 9 | 6240 | 6100 | 6200 | 6210 |
| 11 | 6200 | 6150 | 6200 | 6200 |
| 13 | 6180 | 6170 | 6200 | 6190 |
| 15 | 6240 | 6200 | 6200 | 6210 |
| 17 | 6150 | 6120 | 6200 | 6200 |
| 19 | 6210 | 6130 | 6200 | 6210 |
| 21 | 6300 | 6190 | 6200 | 6210 |
| 23 | 6250 | 6150 | 6200 | 6210 |
| 25 | 6180 | 6120 | 6200 | 6210 |
| 27 | 6220 | 6190 | 6200 | 6210 |
| 29 | 6250 | 6210 | 6200 | 6210 |
| 31 | 6200 | 6140 | 6200 | 6210 |
| 33 | 6150 | 6110 | 6200 | 6200 |
| 35 | 6100 | 6170 | 6200 | 6190 |
| 37 | 6180 | 6200 | 6200 | 6200 |
| 39 | 6220 | 6220 | 6200 | 6210 |
| 41 | 6300 | 6180 | 6200 | 6200 |
| 43 | 6250 | 6230 | 6200 | 6200 |
| 45 | 6210 | 6190 | 6200 | 6210 |

| № опоры | Высота контактного провода от УГР, мм | | | |
|---------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------|
| | При использовании утвержденной технологической карты | При использовании технологии подрядных организаций | Проектное значение | При использовании технологии, разработанной автором |
| 47 | 6240 | 6150 | 6200 | 6200 |
| 49 | 6190 | 6140 | 6200 | 6190 |
| 51 | 6150 | 6120 | 6200 | 6190 |
| 53 | 6230 | 6170 | 6200 | 6200 |
| 55 | 6160 | 6200 | 6200 | 6210 |
| 57 | 6210 | 6220 | 6200 | 6200 |
| 59 | 6280 | 6200 | 6200 | 6210 |

Исходя из результатов, полученных опытным путем, были построены графические зависимости (рисунок 3.4).

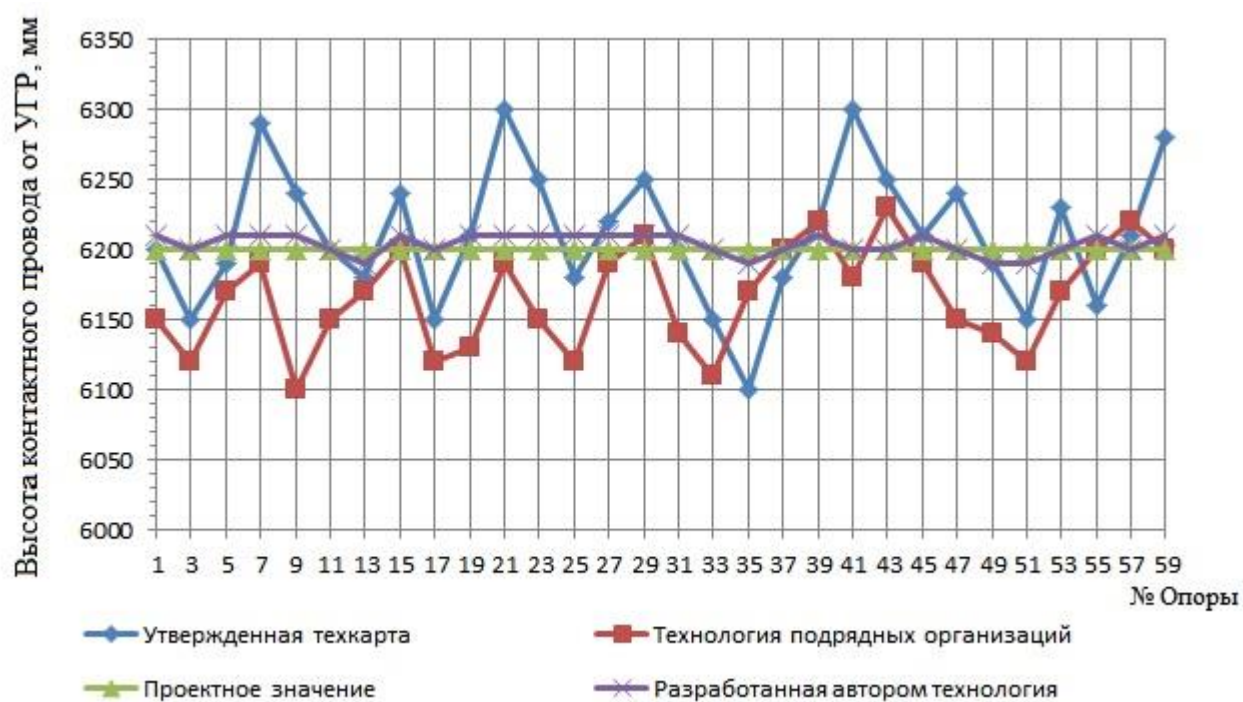


Рисунок 3.4 – Высота контактного провода от УГР

На станциях и перегонах расстояние между точкой подвешивания контактного провода и уровня верха головки рельса должна быть не менее 5750 мм, а на переездах – не менее 6000 мм [68]. За исключением некоторых случаев, когда это

расстояние должно быть в пределах искусственных сооружений, которые расположены на путях станций, не предусматривающих стоянки подвижного состава. На перегонах с разрешения ОАО «Российские железные дороги» это значение может быть уменьшено до 5675 мм при переменном токе и до 5550 мм при постоянном. Расстояние от УГР до рабочей поверхности контактного провода не должна превышать 6800 мм. На перегонах это значение следует принимать равным 6500 мм, а на станциях 6600 мм.

Из рисунка 3.4 видно, что фактические значения высоты контактного провода от УГР наиболее близки к проектным, когда установка консолей осуществляется по технологии, разработанной автором диссертации. Таким образом, для обеспечения требуемых статических параметров контактной подвески наиболее рационально применить предложенную технологию установки консолей при реконструкции или строительстве новых железнодорожных магистралей.

Сравнивая существующие технологии с [66] по отдельности, следует отметить, что наглядно видно преимущество — высота контактного провода от УГР имеет отклонение ± 10 мм.

3.3 Оценка точности результатов измерений при проведении эксперимента

На основании [69] при статистической обработке результатов измерений следует выполнять следующие операции:

– определить оценку измеряемой величины, вычислив среднее арифметическое значение исправленных результатов наблюдений, которые принимаются за результат измерения;

– вычислить среднее квадратическое отклонение результатов измерений;

- проверить наличие грубых погрешностей и при необходимости исключить их;
- проверить гипотезу о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению;
- вычислить доверительные границы случайной погрешности результата измерений.

Оценка результата измерений проводится с целью определения границ погрешностей, в которых находится измеряемая величина. Для этого необходимо оценить те погрешности, которые исключить нельзя (невозможно), а именно случайные. Случайной погрешностью измерений называют составляющую погрешности измерений, которая при повторных измерениях одной и той же величины изменяется случайным образом, проведенных с одинаковой тщательностью [69]. Погрешности данного типа обнаруживаются при проведении измерений одной и той же величины многократно.

Статистическая зависимость частоты или вероятности появления случайных погрешностей от их величин определяет закон распределения погрешностей. Наибольшее распространение получил закон нормального распределения (закон Гаусса) при числе измерений n . Выводы и доказательства этих распределений дает теория вероятности.

Истинное (действительное) значение измеряемой величины принимаем за среднее арифметическое \bar{X} , равное

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3.1)$$

где X_i – i -й результат измерений; n – число результатов измерений.

Чем больше число измерений, тем достовернее полученное значение.

Среднее квадратическое отклонение группы (S), которая содержит n результатов измерений, вычисляется по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (3.2)$$

Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (оценки измеряемой величины) $S_{\bar{X}}$ вычисляется по формуле

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (3.3)$$

Для исключения грубых погрешностей используется критерий Граббса, который основан на том, что группа результатов измерений подчинена закону нормального распределения. Для этого вычисляем критерии Граббса: G_1 и G_2 , предполагая, что наибольший X_{max} или наименьший X_{min} результат, который обусловлен наличием грубых погрешностей [69]:

$$G_1 = \frac{|X_{max} - \bar{X}|}{S}, \quad (3.4)$$

где X_{max} – наибольший результат измерений, мм.

$$G_2 = \frac{|\bar{X} - X_{min}|}{S}, \quad (3.5)$$

где X_{min} – наименьший результат измерений, мм.

Сравним полученные значения G_1 и G_2 с теоретическим значением G_T при выбранном уровне значимости q . Таблица критических значений приведена в источнике [69].

Если $G_1 > G_T$, то X_{max} исключаем как маловероятное значение. Если $G_2 > G_T$, то X_{min} исключаем как маловероятное значение. Если $G_1 \leq G_T$, то X_{max} не считаем промахом и сохраняем данное значение в качестве результата измерений. Если

$G_2 \leq G_T$, то X_{min} не считаем промахом и сохраняем данное значение в качестве результата измерений.

В соответствии с [69] доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины устанавливаются для полученных результатов измерений, которые соответствуют нормальному распределению. При числе результатов измерений $15 < n \leq 50$ для проверки принадлежности их к нормальному распределению используется составной критерий. Доверительные границы ε случайной погрешности оценки измеряемой величины (без учета знака) определяют по формуле [69]:

$$\varepsilon = t \cdot S_{\bar{X}}, \quad (3.6)$$

где t – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности (P) и числа результатов измерений n , приведенных в [69].

Общая оценка результата измерений и оформление записи оценок измеряемых величин проведем в соответствии с [70] по формуле

$$A_{\text{рез.изм.}} = \bar{X} \pm \varepsilon, \quad (3.7)$$

где \bar{X} – оценка измеряемой величины (среднее арифметическое значение результатов измерений); ε – доверительные границы случайной погрешности измерений.

Для того чтобы оценить точность предложенной технологии установки поддерживающих конструкции необходимо вычислить случайную погрешность, которая является составляющей погрешности измерения. Для этого проводились многократные измерения расстояния от УГР до точки установки нижнего хомута крепления консоли. В таблице 3.2 приведены результаты измерений.

Таблица 3.2 – Результаты измерений

| № измерения | $X_i, \text{мм}$ | $X_i - \bar{X}, \text{мм}$ |
|-------------|------------------|----------------------------|
| 1 | 5702 | + 1,46 |
| 2 | 5703 | + 2,46 |
| 3 | 5700 | - 0,54 |
| 4 | 5701 | + 0,46 |
| 5 | 5700 | - 0,54 |
| 6 | 5698 | - 2,54 |
| 7 | 5697 | - 3,54 |
| 8 | 5699 | - 1,54 |
| 9 | 5701 | + 0,46 |
| 10 | 5700 | - 0,54 |
| 11 | 5703 | + 2,46 |
| 12 | 5702 | + 1,46 |
| 13 | 5701 | + 0,46 |
| 14 | 5699 | - 1,54 |
| 15 | 5698 | - 2,54 |
| 16 | 5700 | - 0,54 |
| 17 | 5700 | - 0,54 |
| 18 | 5701 | + 0,46 |
| 19 | 5702 | + 1,46 |
| 20 | 5702 | + 1,46 |
| 21 | 5703 | + 2,46 |
| 22 | 5700 | - 0,54 |
| 23 | 5699 | - 1,54 |
| 24 | 5702 | + 1,46 |
| 25 | 5700 | - 0,54 |
| 26 | 5701 | + 0,46 |

Вычисляем среднее арифметическое значение результатов измерений (оценку измеряемой величины) по формуле (3.1)

$$\bar{X} = \frac{148214}{26} = 5700,54 \text{ мм.}$$

Вычисляем среднее квадратическое отклонение результатов измерений по формуле (3.2)

$$S = \sqrt{\frac{64,4616}{25}} = 1,61.$$

Вычисляем среднее квадратическое отклонение оценки измеряемой величины по формуле (3.3)

$$S_{\bar{X}} = \frac{1,61}{\sqrt{26}} = 0,31.$$

Для исключения грубых погрешностей воспользуемся данными из таблицы 1, найдем $X_{min} = 5697$ мм и $X_{max} = 5703$ мм.

Вычислим критерий Граббса G_1 по формуле (3.4)

$$G_1 = \frac{|5703,00 - 5700,54|}{1,61} = 1,53.$$

Вычислим критерий Граббса G_2 по формуле (3.5)

$$G_2 = \frac{|5700,54 - 5697,00|}{1,61} = 2,20.$$

Критическое значение $G_T = 2,841$ при $n = 26$ и уровне значимости q более 5% взято из таблицы приложения А. Так как $G_1 = 1,53 < G_T = 2,841$, то $X_{max} = 5703$ мм и не является промахом. Данное значение сохраняем как приемлемый результат измерений. Так как $G_2 = 2,20 < G_T = 2,841$, то $X_{min} = 5697$ мм не является промахом, и его сохраняем как приемлемый результат измерений.

Если количество результатов наблюдений больше 50 ($n > 50$), то для проверки принадлежности их к нормальному распределению применяется один из следующих критериев: χ^2 – критерий Пирсона или ω^2 – критерий Мизеса-Смирнова. При числе результатов наблюдений $50 > n > 15$ для проверки принад-

лежности их к нормальному распределению предпочтительным является составной критерий [69]. Если число результатов наблюдений $n \leq 15$, то проверять принадлежность их к нормальному распределению не нужно. Так как число результатов измерений $n = 26$, то нормальность их распределения проверяют при помощи составного критерия [69].

Проверка статистических гипотез основана на сравнении рассчитанного значения критерия с теоретическим значением, выбранного с заданным критическим уровнем значимости (q). При малом объеме выборки (n) более вероятно получить случайный результат, при увеличении объема выборки случайные отклонения компенсируют друг друга, поэтому следует придерживаться условных границ зависимости объема выборки от уровня значимости. Если $n \leq 100$, то достаточен уровень значимости 0,05. При $100 \leq n \leq 1000$ следует понизить уровень значимости до 0,01.

Для определения критерия 1 вычислим отношение \bar{d} по формуле

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot S^*}, \quad (3.8)$$

где S^* – смещенная оценка среднего квадратического отклонения вычисляется по формуле [69]:

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}. \quad (3.9)$$

По формуле (3.9) вычисляем

$$S^* = \sqrt{\frac{64,4616}{26}} = 1,57.$$

По формуле (3.8) вычисляем

$$\bar{d} = \frac{34}{26 \cdot 1,57} = 0,8329.$$

Результаты наблюдений группы можно считать распределенными нормально, если выполняется условие

$$d_{1-q/2} < \bar{d} \leq d_{q/2}, \quad (3.10)$$

где $d_{1-q/2}$ и $d_{q/2}$ – квантили распределения, полученные из таблицы 3.2 по n , $q_{1/2}$ и $(1 - q_{1/2})$, причем q_1 – заранее выбранный уровень значимости критерия.

По формуле (3.10) получаем условие, отвечающее нормальному закону распределения: $0,7040 < 0,8329 \leq 0,8901$.

Результаты наблюдений принадлежат нормальному закону распределения, если по критерию 2 не более m разностей $(X_i - \bar{X}_i)$ превысили значение, которое вычисляется по формуле:

$$z_{p/2} \cdot S, \quad (3.11)$$

где S – среднее квадратическое отклонение, вычисляемое по формуле (3.2); $z_{p/2}$ – верхний квантиль распределения нормированной функции Лапласа, который соответствует вероятности $P/2$.

Значения вероятности P определяются по выбранному уровню значимости q_2 и числу результатов наблюдений n . Зависимость $z_{p/2}$ от P , при $n = 26$, $m = 2$, уровень значимости $q_2 = 1\%$, вероятность $P = 0.99$. Значение по формуле (3.11) равно 4.1538. Таким образом, 4.1538 не превышает ни одну из разностей $(X_i - \bar{X}_i)$, значит результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению. Оба критерия соблюдаются, поэтому распределение результатов наблюдений группы соответствует нормальному закону.

По формуле (3.6) при $t = 2.779$, $P = 0.99$ и $n = 26$ доверительные границы погрешности $\varepsilon \approx 0,88$.

Приведем оценку результата измерений по формуле (3.7) при $P = 0.99$.

$$A_{\text{рез.изм.}} = (5700,54 \pm 0,88) \text{ мм.}$$

Из вычислений видно, что случайная погрешность измерений составляет $\pm 0,88$ мм. Таким образом, результаты измерений, проведенные автором диссертации, можно считать достоверными, а предложенную технологию монтажа консолей достаточно точной.

Выводы по третьей главе

1. Разработана технология установки консолей на опору контактной сети, на которую получены: патент на изобретение и акты о внедрении. На основании предложенной новизны была научно обоснована методика экспериментального определения статических параметров контактной подвески.

2. При испытании разработанной технологии, было установлено, что ее применение обеспечивает наличие таких статических параметров контактной подвески, которые отвечают требованиям нормативно-технической документации для скоростных и высокоскоростных магистралей.

3. За счет точной установки поддерживающих конструкций в проектное положение допустимое отклонение статических параметров контактной подвески не превысило ± 10 мм. Случайная погрешность измерений составила $\pm 0,88$ мм.

4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УСТАНОВКИ КОНСОЛИ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ

4.1 Расчет экономического эффекта от внедрения разработанной технологии установки консолей

Экономический эффект от внедрения разработанной технологии установки консолей определяется как разница между сэкономленными денежными средствами, полученными от внедрения технологии, и затрат, необходимых для реализации данного процесса:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E} - \mathcal{Z}, \quad (4.1)$$

где \mathcal{E} – экономия денежных средств, полученная за счет внедрения новой технологии, руб.; \mathcal{Z} – затраты, связанные с внедрением новой технологии, руб.

Экономия эксплуатационных расходов от сбережения трудовых, материальных и энергетических ресурсов в связи с внедрением новой технологии монтажа консолей можно определить по [78] из выражения:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_r \cdot t_0 \cdot K_y + C_M + \mathcal{E}_3 + T, \quad (4.2)$$

где \mathcal{Z}_r – средневзвешенная часовая тарифная ставка исполнителей работ, руб.; t_0 – нормы времени, чел.-час.; K_y – коэффициент, который учитывает дополнительную заработную плату (на оплату отпусков), отчисления на социальные нужды, премии, доплаты и другие издержки ($K_y = 2-2,5$); C_M – затраты на материалы и запасные части, руб.; \mathcal{E}_3 – затраты на электроэнергию, руб.; T – затраты, которые связаны с эксплуатацией транспортных средств (автомашин и (или) автомотрис),

оплатой труда водителей, стоимостью горюче-смазочных материалов и потреблением электроэнергии, руб.

По формуле (4.2) рассчитаем экономию эксплуатационных расходов на установку консоли и монтаж контактной подвески. При расчете целесообразно сравнивать технологию, разработанную автором, с технологией, приведенной в [6].

На основании [6] для того чтобы обеспечить заданные статические параметры контактной подвески для скоростей движения подвижного состава свыше 160 км/ч, установка консолей производится с точностью ± 150 см. Затем при помощи оптического дальномера производятся измерения фактически получившихся высот и зигзагов несущего троса. Нормы времени на указанные выше работы приведены в [76].

Трудозатраты на проведение измерений для расчета одной мерной струны составляют 6,2 чел.-минуты (0,103 чел.-час). Для удобства расчета рассмотрим километровый участок контактной сети с двойным контактным проводом, состоящий из 16 пролетов по 62 м. При длине пролета 62 м количество струн составляет 16 штук. Таким образом, необходимо провести измерения для 256 мерных струн. Нормы времени при этом составляют 26,368 чел.-часов. Также следует учесть трудозатраты на перемещение съемной изолирующей вышки (0,098 чел.-час.) на каждый пролет.

Итоговые нормы времени на проведение измерений перед расчетом струн составляют 27,936 чел.-часов. Нормы рабочего времени отражают суммарные затраты труда всех исполнителей, входящих в состав бригады.

Следует учесть, что средняя стоимость оптического дальномера составляет 25 000 рублей и средневзвешенная часовая тарифная ставка электромонтера контактной сети IV разряда определяется из [77] путем деления оклада на норму часов в месяц, взятую из производственного календаря. Сведем получившиеся данные в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Значения показателей для расчета экономии эксплуатационных расходов

| Z_r , руб./час | t_0 , чел.-час. | K_y | C_m , руб. |
|------------------|-------------------|-------|--------------|
| 150 | 27,936 | 2,2 | 25 000 |

На основании формулы 4.2 экономия эксплуатационных расходов от сбережения трудовых, материальных и энергетических ресурсов в связи с внедрением новой технологии установки консолей составила 34 218,88 рублей.

Для определения экономического эффекта рассчитаем затраты, связанные с внедрением в опытную эксплуатацию технологии, разработанной автором диссертации [66]. Изобретение обеспечивает постановку в проектное положение как несущего троса, так и контактного провода с точностью ± 5 мм. В данном случае нет необходимости производить дополнительные измерения высот и зигзагов несущего троса, а расчет мерных струн выполняется на проектные значения.

Для получения приведенной выше точности потребуется спроецировать оптическим дальномером уровень головки рельса на опору в точку, которая будет служить началом отсчета для проведения дальнейших измерений. Затем измерить проектное расстояние от уровня головки рельса до места установки верхнего узла для крепления консоли.

На основании [76], норма времени на данные работы составляет 6,2 чел.-минуты (0,103 чел.-час). Измерение от УГР до нижнего консольного хомута 3,1 чел.-минуты (0,052 чел.-час). Таким образом, норма времени на монтаж одной консоли по разработанной технологии увеличивается на 0,155 чел.-часов.

При строительстве 1 км участка контактной сети под высокоскоростное движение понадобится установить 17 консолей. Соответственно норма времени на пять исполнителей составит 2,635 чел.-часа. Затраты, которые необходимы для реализации способа монтажа консоли можно определить также по формуле (4.2), составляют 25 869,55 рублей.

Экономический эффект на 1 км составляет 8349,33 рублей. Экономический эффект от внедрения способа монтажа на 100 км высокоскоростной контактной

подвески составит 834 933 рублей. Трудозатраты на монтаж 1 км контактной подвески уменьшатся на 27,936 чел.-часов.

Основными показателями эффективности при внедрении технологии являются: чистый дисконтированный доход, минимум приведенных затрат на внедрение мероприятия и экономическая эффективность.

Экономическая эффективность от предложенных мероприятий определяется по формуле [78]:

$$\text{ЭЭ}_\phi = \frac{\text{ЭЭ}}{3}. \quad (4.3)$$

Внедрение технологии установки консолей считается экономически целесообразным, так как значение экономической эффективности больше единицы. В данном случае эффективность для 10 км контактной сети по формуле (4.3) составляет 3,2. Это говорит о том, что затраты меньше экономии денежных средств в 3 раза.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) дает четкое представление о том, насколько выгодными окажутся вложения средств с течением времени, учитывая текущий уровень инфляции и рост возможных рисков. ЧДД определяется по формуле

$$\text{ЧДД} = \sum_{t_0}^T \frac{(\text{Э} - \text{З}_t)}{(1 + \varepsilon + z)^t}, \quad (4.4)$$

где T – расчетный период, принимаем 5 лет; Э – экономия расходов, руб.; t_0 – первый год капитальных вложений (принимается за нулевой год); З_t – суммарные затраты в t -ом году (капитальные вложения и текущие расходы на содержание вводимых в эксплуатацию технических средств); ε – норма дисконта (для условий 2016 года ее можно принять равной 0,1); z – поправка на риск (при капитальных вложениях в инфраструктуру и надежность техники $z = 0,03$).

ЧДД за пятилетний период для 100 км участка контактной подвески по формуле (4.4) составляет 3 771 582,00 руб. Это означает, что предложенные меро-

приятия экономически целесообразны в случае применения их в течение длительного периода.

4.2 Определение стоимости жизненного цикла консоли

ОАО «Российские железные дороги» предусматривает повышение коэффициента эксплуатационной готовности, а также снижение трудоемкости при проведении текущего и среднего ремонтов до 50 %, увеличение межремонтных пробегов в 2-3 раза и межсервисных интервалов в 3-10 раз [51].

Стоимость инфраструктуры ОАО «РЖД» составляет 60 % от стоимости основных средств, а доля эксплуатационных затрат на объекты инфраструктуры составляет около 35 % от общего объема затрат. В связи с этим необходимо оптимизировать расходы на содержание инфраструктурного комплекса. Недостаточное финансирование привело к износу основных фондов и в настоящее время требуется провести ремонт многих элементов инфраструктуры компании, наиболее критичных по последствиям выхода из строя, достиг 70 % [72].

Рост цен на материалы неуклонно ведет к существенному увеличению себестоимости ремонтов, поэтому при сохранении величины годового финансирования ремонта объемы работ имеют тенденцию к постоянному уменьшению. В результате постоянно растет протяженность участков пути и число других объектов инфраструктуры, у которых просрочены сроки ремонта различного вида.

Основная задача инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» – сокращение стоимости жизненного цикла объектов инфраструктуры и подвижного состава при условии обеспечения высокого уровня надежности технических средств и требуемого уровня безопасности перевозочного процесса.

Согласно методике оценки эффективности продления срока службы основных средств хозяйства электрификации и электроснабжения ОАО «Российские железные дороги» при принятии решения об экономической целесообразности продления назначенного срока службы объектов электрификации и электроснабжения должна быть решена основная задача – выбор варианта решения, которое обеспечит наименьшую стоимость жизненного цикла (СЖЦ) [53].

Основой СЖЦ являются затраты на приобретение и содержание оборудования в течение его жизненного цикла и восстановление после отказов, а также утилизацию. Целью анализа СЖЦ является выбор наиболее экономически выгодного подхода. Оптимизация СЖЦ заключается в поиске такого варианта использования устройств контактной сети, который обеспечивает самую низкую стоимость жизненного цикла, при условии достижения требуемого уровня надежности и безопасности.

Методология оценки СЖЦ в хозяйстве электрификации и электроснабжения железнодорожных магистралей является инструментом, который позволяет принимать экономически обоснованное решение, когда речь идет о выборе альтернативных вариантах, заключающихся в замене оборудования, выработавшего назначенный производителем ресурс, на новое или при обновлении, ремонте или продлении срока службы действующего оборудования.

СЖЦ систем железнодорожного транспорта включает в себя единовременные (инвестиции) и текущие (эксплуатационные) расходы в течение срока службы (срока полезного использования объекта). Кроме того следует учитывать ликвидационные расходы, связанные с исключением объекта из эксплуатации.

Рассмотрим, что необходимо сделать для оценки СЖЦ консоли контактной сети:

- определить из чего состоят затраты жизненного цикла консолей, для которых возможно продление срока службы;
- выявить ряд причин, которые влияют на СЖЦ и оценить количественные показатели степени их влияния;
- сформировать нормы для принятия окончательного решения о продлении срока службы консолей или их замены.

Жизненный цикл объекта хозяйства электрификации и электроснабжения сопряжен с затратами на:

приобретение и установку консоли (разработку и проектирование, материалы, логистику, строительство, наладку, тестирование);

– текущее обслуживание и ремонт (проведение регулярных осмотров, заработная плата персонала, материалы, транспортировка, затраты, связанные с технологическими окнами);

– работы, связанные с отказами объекта (ущерб от опасных отказов, внеплановые ремонтные работы, простои поездов и возможные штрафные санкции, вызванные отказами, недополученная прибыль);

– утилизацию консоли.

К определению стоимости жизненного цикла сводятся вычисления следующих параметров:

1. Коэффициент дисконтирования.
2. Коэффициент учета изменения срока службы.
3. Экономия СЖЦ при использовании нового образца техники.
4. Полезный эффект.
5. Лимитная цена.

Стоимость жизненного цикла сложных технических систем железнодорожного транспорта, в частности консоли контактной сети, определяется по формуле [51]:

$$\text{СЖЦ} = \text{Ц}_n + \sum_{t=1}^T (\text{И}_t + \Delta K_t - \text{Л}_t) \cdot \alpha_t, \quad (4.5)$$

где Ц_n – цена, за которую приобретается объект (первоначальная стоимость), руб.; И_t – эксплуатационные расходы в течение года, руб.; ΔK_t – сопутствующие единовременные затраты, которые связаны с внедрением в эксплуатацию, тыс. рублей; Л_t – необходимый минимальный объем затрат на ликвидацию объекта, руб.; α_t – коэффициент дисконтирования; t – текущий год эксплуатации, лет; T – конечный год эксплуатации (устанавливаемый в соответствии с техническими требованиями), лет.

Годовые эксплуатационные расходы потребителя определяются исходя из прямых материальных и трудовых затрат, а также расходов на содержание и эксплуатацию новой (модернизированной) техники (техническое обслуживание, текущие, капитальные и неплановые ремонты).

Проверку состояния консолей осуществляют при верховой диагностике контактной сети не реже одного раза в четыре года. Также в расчетах должна быть учтена регулировка консолей. В целях сопоставимости расчетов годовые текущие эксплуатационные расходы при использовании новой (модернизированной) техники по сравнению с базовой рассчитываются на одинаковый годовой объем работы, выполняемой новым устройством. В состав годовых эксплуатационных расходов не включаются амортизационные отчисления. Годовые эксплуатационные расходы рассчитываются по формуле:

$$И_t = Z_r \cdot t_0 \cdot K_y, \quad (4.6)$$

где Z_r – средневзвешенная часовая тарифная ставка исполнителей работ, руб.; t_0 – нормы времени, чел.-час.; K_y – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату (на оплату отпусков), отчисления на социальные нужды, премии, доплаты и другие издержки, меняющиеся пропорционально основной заработной плате ($K_y = 2 - 2,5$).

В состав сопутствующих капитальных вложений включаются единовременные затраты, необходимые для функционирования нового (модернизированного) объекта [73].

Ликвидационная стоимость консоли определяется на конечном этапе ее использования., а по истечении 40 лет и более, с учетом дисконтирования, как правило является достаточно малой величиной и при определении СЖЦ не учитывается [51].

Введение в расчеты СЖЦ коэффициента дисконтирования позволяет учитывать текущий уровень инфляции. Норма дисконта обуславливает реальную стоимость объекта в конкретный момент времени. Данный подход при вычисле-

нии СЖЦ любого технически сложного объекта учитывает величину процентных ставок по долгосрочным кредитам, величину изменения инфляции по отношению к отдельным продуктам и ресурсам, а также уровень различных видов риска, при возможной задолженности по кредитам и займам.

К единовременным затратам, связанным с внедрением консоли в эксплуатацию, следует отнести покупку оптического дальномера. Значения, которые требуются для расчета СЖЦ, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Значения показателей для расчета стоимости жизненного цикла

| $З_r$, руб./час | t_0 , чел.-час. | K_y | ΔK_t , руб. | L_t , руб. |
|------------------|-------------------|-------|---------------------|--------------|
| 150 | 0,95 | 2,2 | 25 000 | 0 |

Коэффициент дисконтирования определяется из выражения

$$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E_k)^t}, \quad (4.7)$$

где E_k – ставка дисконтирования за определенный год эксплуатации.

При продолжительности жизненного цикла более 20 лет сложно спрогнозировать рост инфляции на весь расчетный период. В данном случае ставка дисконтирования приравнивается к средней текущей процентной ставке по депозиту в банке (0,1).

Коэффициент изменения учета срока службы новой или модернизированной консоли по сравнению с базовой определяем по формуле:

$$K_d = \frac{1/T_1 + E}{1/T_2 + E}, \quad (4.8)$$

где T_1 – срок службы существующей консоли (среднестатистически составляет 50 лет), лет; T_2 – срок службы новой консоли (на основании расчетов может составлять 72 года), лет; E – ставка дисконтирования (0,1).

По формуле (4.8) $K_d = 1,06$.

Полезный эффект (\mathcal{E}_n) устройств контактной сети при эксплуатации представляет собой оценку стоимости изменения их потребительских свойств по сравнению с базовой техникой, оказывающих влияние на показатели производительности, надежности и долговечности, использования рабочей силы, сырья, материалов, качество перевозочного процесса, экологические и социальные показатели.

Расчет полезного эффекта осуществляется по формуле

$$\mathcal{E}_n = C_6 \cdot (K_n \cdot K_d - 1) + \Delta LCC' + \mathcal{E}_k + \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_3, \quad (4.9)$$

где C_6 – цена единицы базового типоразмера консоли, руб.; K_n – коэффициент учета производительности новой консоли контактной сети; K_d – коэффициент учета изменения срока службы новой консоли контактной сети по сравнению с существующей; \mathcal{E}_k – эффект от изменения качества перевозок (могут учитываться такие факторы как надежность технических средств, безопасность перевозок); \mathcal{E}_c – социальный эффект (социальными результатами осуществления проекта являются улучшения условий труда работников и улучшение состояния их здоровья. В данном расчете принимается равным нулю, так как консоли контактной сети не оказывают влияния на условия труда работников, а так же на их здоровье); \mathcal{E}_3 – экологический эффект. Оценка экологического эффекта основывается на использовании показателя предотвращенного ущерба или минимизации платы за загрязнение окружающей среды. В данном расчете принимается равным нулю, так как консоли контактной сети не оказывают влияния на окружающую среду во время эксплуатации.

Экономия стоимости жизненного цикла при использовании новой консоли по сравнению с существующей (базовой) без учета прямых инвестиций на приоб-

ретенение техники и амортизационных отчислений в составе годовых эксплуатационных расходов определяется по формуле:

$$\Delta LCC' = \sum \Delta I'_t \cdot \alpha_t \pm \sum \Delta K'_t \cdot \alpha_t, \quad (4.10)$$

где $\Delta I'_t$ – изменение годовых эксплуатационных расходов потребителя при использовании им новой консоли контактной сети в расчете на объем работы, выполняемой за выбранный период, руб.; $\Delta K'_t$ – изменение сопутствующих капитальных вложений потребителя за срок службы при использовании новой консоли контактной сети взамен существующей в расчете на объем работы, производимой новой консолью, руб.

Объем работы, выполняемой за расчетный период, нового и существующего типов консоли одинаков, поэтому экономия стоимости жизненного цикла в расчетах по формуле (4.10) принимается равной нулю. Значения показателей определения полезного эффекта сведем в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Значения показателей для расчета полезного эффекта

| Цб, руб. | Кп | $\Delta LCC'$, руб. | Эк, руб. | Эс, руб. | Эз, руб. |
|----------|----|----------------------|----------|----------|----------|
| 150 000 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

По формуле (2.5) полезный эффект от монтажа одной консоли по разработанной технологии, составил 9 000 рублей.

Лимитная цена новой техники – уровень (величина) цены нового технического средства, основанный на изменении его потребительских свойств, улучшении качества, технико-экономических, социальных и экологических параметров по сравнению с техникой-аналогом. Рассчитывается с учетом полезного эффекта у потребителя, определяемого за срок службы техники (жизненный цикл) по пунктам, изложенным в [97]. С позиции потребителя лимитная цена является предельно допустимой ценой новой консоли.

Лимитная цена определяется по формуле

$$\Pi_{\text{л}} = \Pi_{\text{б}} \cdot K_{\text{м}} + \Xi_{\text{п}} \cdot K_{\text{э}}, \quad (4.11)$$

где $K_{\text{м}}$ – коэффициент учитывающий моральный износ существующей консоли (принимается по экспертной оценке на уровне 0,8-0,9 для технических средств, находящихся в производстве более 20 лет); $\Xi_{\text{п}}$ – полезный эффект от применения нового (модернизированного) технического средства (0,7); $K_{\text{э}}$ – коэффициент учета полезного эффекта в цене нового (модернизированного) технического средства. Таким образом, по формуле (4.11) лимитная цена консоли составила 126 300 рублей.

Расчет СЖЦ, например, за 72 летний период по формуле (4.5) показал, что при применении новой технологии монтажа консоли, предложенной автором, СЖЦ поддерживающих конструкций составляет 149 702 рублей. При расчетах были учтены годовые эксплуатационные расходы на техническое обслуживание и регулировку консоли при верховой диагностике контактной сети с периодичностью один раз в четыре года.

Из полученного результата видно, что внедрение новых технологий позволяет добиться полезного эффекта и получить реальную стоимость жизненного цикла объекта для заданного горизонта расчета.

4.3 Разработка программного продукта для расчета стоимости жизненного цикла устройств контактной сети

Одной из основных задач инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» является сокращение стоимости жизненного цикла (СЖЦ) объектов инфраструктуры и подвижного состава при условии обеспечения высокого уровня надежности технических средств и требуемого уровня безопасности перевозочного процесса.

Расчет СЖЦ выполняется по следующему алгоритму (рисунок 4.1) [51, 58]:

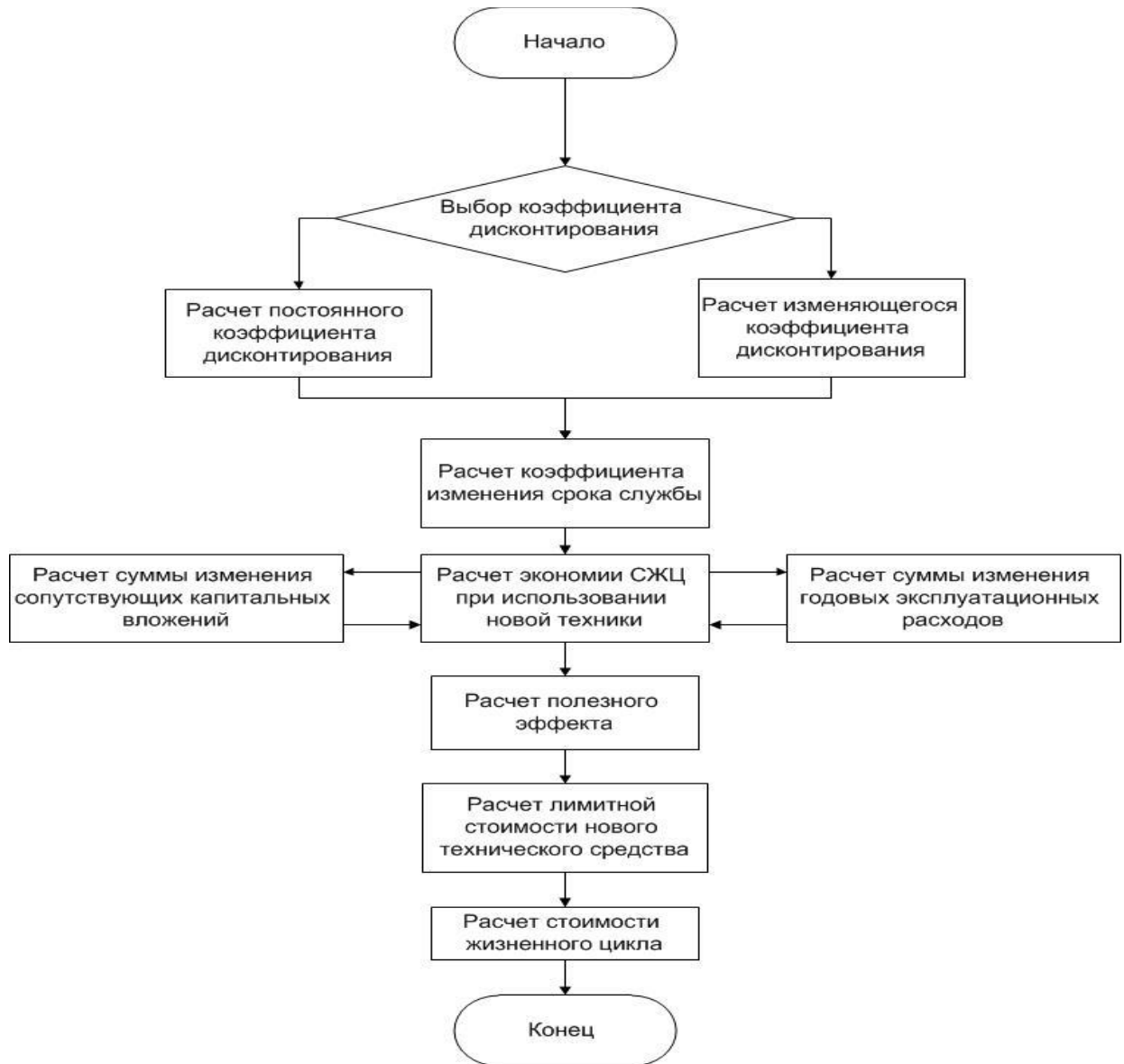


Рисунок 4.1 – Блок-схема для расчета стоимости жизненного цикла объекта

Актуальная задача при определении стоимости жизненного цикла устройства контактной сети – быстрый и автоматизированный расчет с учетом коэффициента дисконтирования. Достоверное определение значений показателей экономической эффективности (лимитная цена, полезный экономический эффект, стоимость ЖЦ) дает возможность заблаговременно вычислить рентабельность с коммерческой точки зрения от использования новых образцов элементов контактной сети (консоли, фиксаторы, опоры, зажимы проводов и др.) по сравнению с их аналогами, которые морально и технически устарели.

На основании блок-схемы, изображенной на рисунке 4.1, был разработан программный продукт «Расчет стоимости жизненного цикла сложных технических систем», который позволяет автоматизировать расчет показателей экономической эффективности устройств контактной сети. Получены: свидетельство о государственной регистрации программного продукта (ПРИЛОЖЕНИЕ Д) и акт о внедрении (ПРИЛОЖЕНИЕ Е).

При вводе исходных данных необходимо задать параметры участка, и выбрать элементы технической системы для расчета (рисунок 4.2)

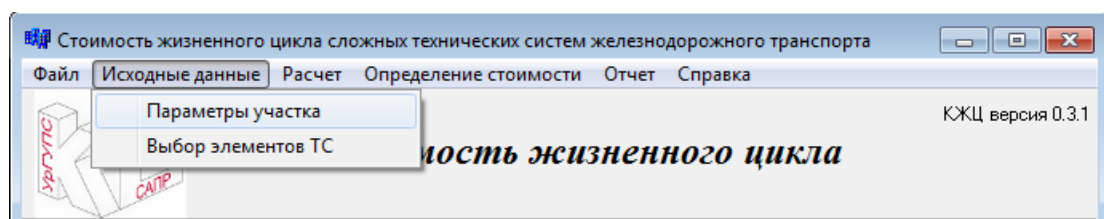


Рисунок 4.2 – Переход к вводу исходных данных

Выбор основных параметров участка включает в себя выбор количества путей, количества анкерных участков их длины, средней длины анкерного участка, длины и количество пролетов (рисунок 4.3).

После этого в диалоговом окне элементов КС (рисунок 4.4) выбираются типы опорных и поддерживающих конструкций, марки проводов и др. элементы [73].

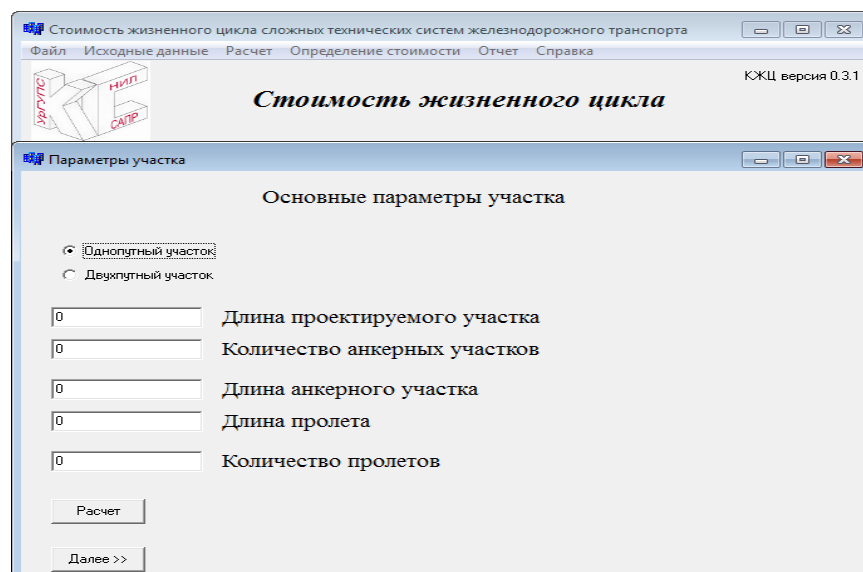


Рисунок 4.3 – Ввод основных параметров расчетного участка

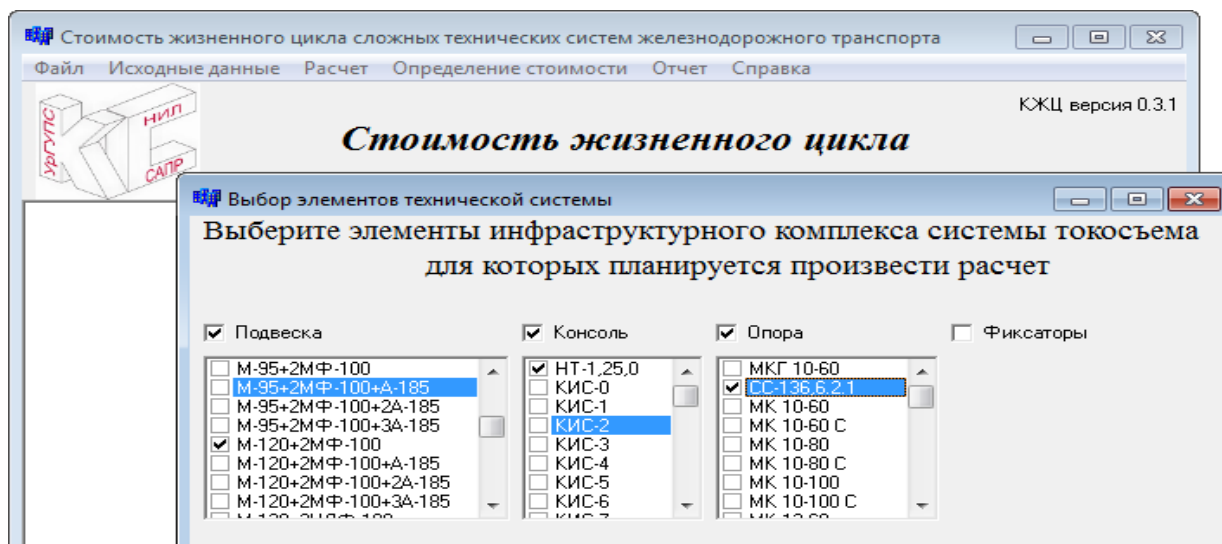


Рисунок 4.4 – Выбор основных элементов расчетного участка

Расчеты для определения стоимости жизненного цикла проводятся последовательно, согласно разработанному алгоритму (рисунок 4.1).

Для определения коэффициента дисконтирования при постоянной норме дисконта в окне расчета необходимо ввести норму дисконта и шаг расчетного периода, затем нажать соответствующую кнопку расчета коэффициента дисконтирования (рисунок 4.5).

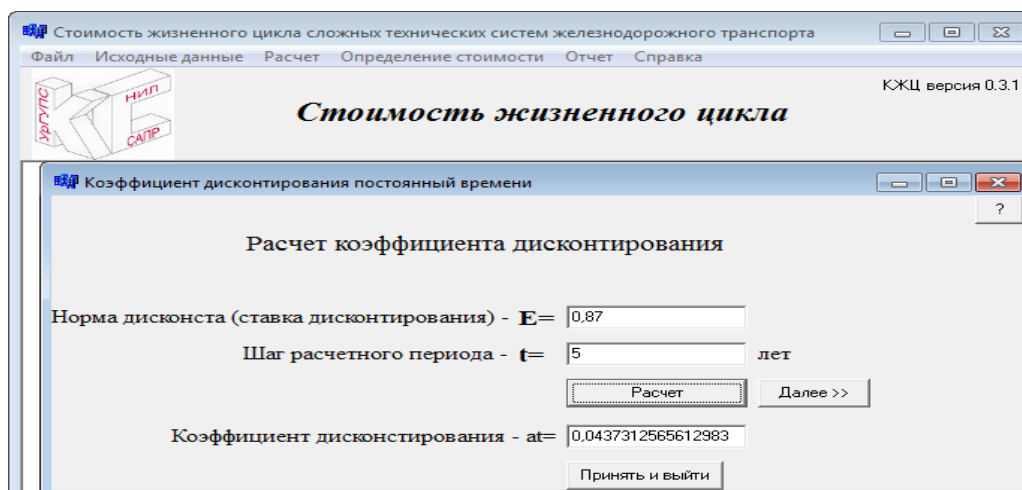


Рисунок 4.5 – Диалоговое окно по расчету коэффициента дисконтирования без учета изменения срока службы объекта

Для определения коэффициента дисконтирования при постоянной норме дисконта, в окне расчета необходимо задать срок службы техники и, тем самым

сформировать таблицу для ввода значений нормы дисконта по годам (рисунок 4.6).

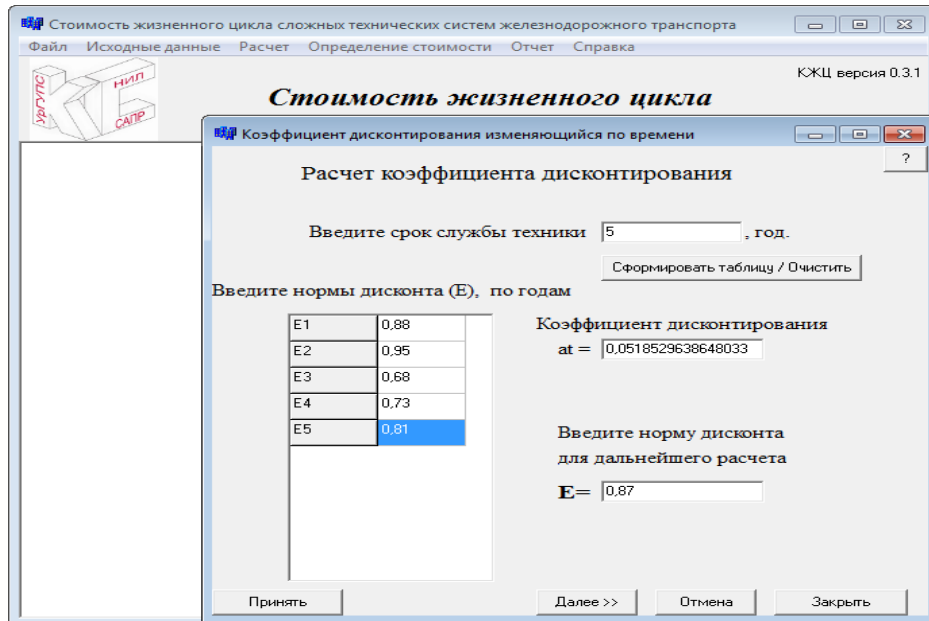


Рисунок 4.6 – Диалоговое окно для расчета коэффициента дисконтирования с учетом изменения срока службы объекта

Для определения коэффициента учета изменения срока службы в диалоговом окне вводим в ячейки сроки службы базовой техники ($T1$, лет) и новой (модернизированной) техники ($T2$, лет), в ячейке с нормой дисконта значение, использованное в предыдущем расчете, затем нажимаем соответствующую кнопку для получения итогового результата (рисунок 4.7).

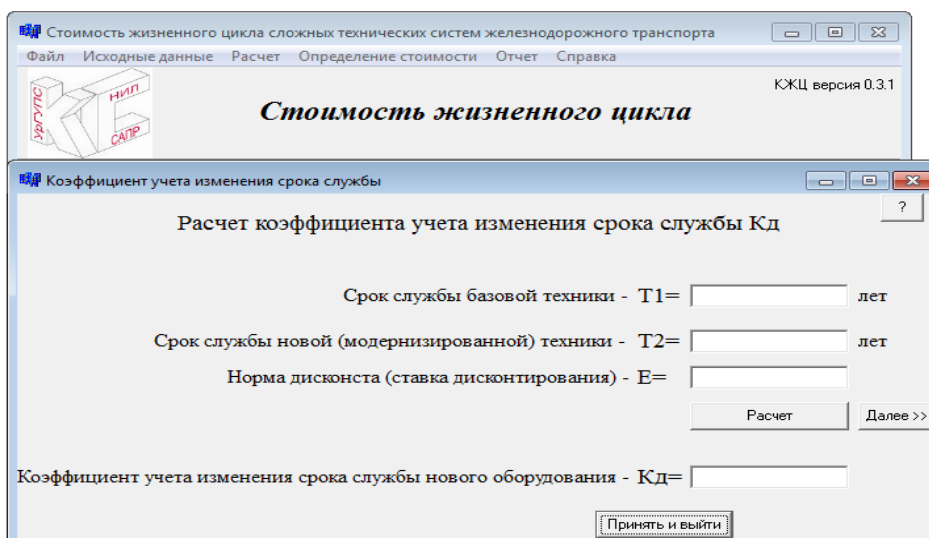


Рисунок 4.7 – Расчет коэффициента изменения срока службы

Для определения экономии СЖЦ в диалоговом окне расчета (рисунок 4.8) необходимо ввести суммарное изменение годовых эксплуатационных расходов и суммарное изменение сопутствующих капитальных вложений, затем нажать соответствующую кнопку.

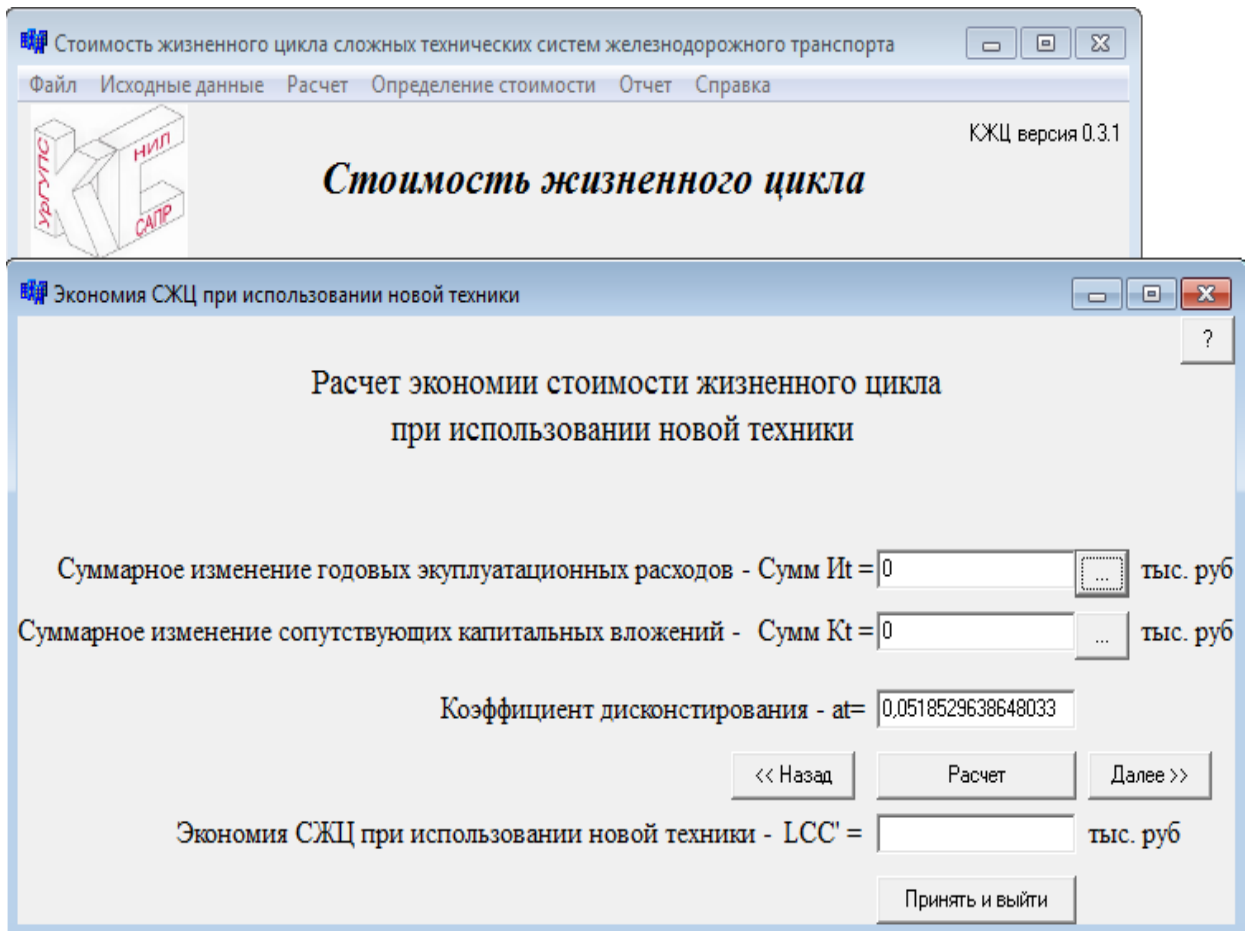


Рисунок 4.8 – Расчет экономии СЖЦ при использовании новой техники

В случае если СЖЦ изменяется по годам, то необходимо рядом с ячейкой ввода нажать кнопку . В появившемся окне, нужно один раз кликнуть по появившейся таблице, после чего она сформируется для ввода значений на тот период времени, который был введен для изменяющейся нормы дисконта (окно расчета изменяющегося коэффициента дисконтирования). Если данные величины известны, то нужно их ввести в ячейки ввода значений без формирования таблиц и дополнительного расчета и нажать кнопку для расчета.

Для того чтобы вычислить полезный эффект при помощи программного продукта, в окне расчета (рисунок 4.9) необходимо ввести все ранее неполученные или не введенные значения показателей.

Стоимость жизненного цикла сложных технических систем железнодорожного транспорта
 КЖЦ версия 0.3.1

Стоимость жизненного цикла

Расчет полезного эффекта

Цена единицы базового оборудования - Цб = 0 тыс. руб

Коэффициент учета роста производительности новой техники - Кп = 0

Коэффициент учета изменения срока службы нового оборудования - Кд =

Экономия СЖЦ при использовании новой техники - LCC' = тыс. руб

Социальный эффект - Эс = 0

Эффект изменения качества перевозок - Эк = 0

Экологический эффект - Ээ = 0

<< Назад Расчет Далее >>

Полезный эффект - Эп = тыс. руб

Принять и выйти

Рисунок 4.9 – Расчет полезного эффекта

Для расчета лимитной стоимости в окне расчета так же необходимо ввести все ранее не рассчитанные или не введенные значения показателей (рисунок 4.10).

Стоимость жизненного цикла сложных технических систем железнодорожного транспорта
 КЖЦ версия 0.3.1

Стоимость жизненного цикла

Лимитная (предельная) цена

Расчет лимитной стоимости нового технического средства

Коэффициент учета полезного эффекта - Кэ = 0.7

Полезный эффект - Эп = тыс. руб

Коэффициент учитывающий моральный износ - Км = 0

Цена единицы базового оборудования - Цб = 0 тыс. руб

<< Назад Расчет Далее >>

Лимитная цена нового (модернизированного) технического средства - Цл = тыс. руб

Принять и выйти

Рисунок 4.10 – Расчет лимитной стоимости

По умолчанию коэффициент учета полезного эффекта равен 0,7 (в расчетах его можно будет изменить), а коэффициент, учитывающий моральный износ изменяется в пределах от 0,8 до 0,9.

Для определения стоимости жизненного цикла в окне расчета так же необходимо ввести все ранее не рассчитанные или не введенные значения, затем нажать соответствующую кнопку расчета (рисунок 4.11).

Рисунок 4.11– Расчет стоимости жизненного цикла

Таким образом, предложенный программный продукт автоматизирует и ускоряет процесс расчета показателей экономической эффективности (лимитная цена, полезный экономический эффект, стоимость жизненного цикла) устройств контактной сети. Существует возможность модернизации программы для ЭВМ, улучшая ее производительность [59].

Выводы по четвертой главе

1. За счет внедрения технологии установки консолей трудозатраты на монтаж 1 км контактной подвески с поддерживающими конструкциями уменьшаются

ся на 27,936 чел.-часов. Экономический эффект от внедрения технологии установки консоли на 100 км высокоскоростной контактной подвески конструкциями составит 835 тыс. рублей. Экономическая эффективность от предложенных мероприятий на 10 км участке составляет 3,2. Это говорит о том, что затраты меньше экономии денежных средств в 3 раза. Чистый дисконтированный доход за пятилетний период на 100 км высокоскоростной контактной подвески с учетом ежегодных затрат, налогов и уровня инфляции составляет 3 800 тыс. рублей. Таким образом, экономически целесообразно реализовывать предложенные мероприятия на долгосрочный период.

2. Стоимость жизненного цикла одной консоли, например, за 72 летний период составляет 149,7 тыс. рублей. При этом полезный эффект равен 9 тыс. рублей.

3. Разработанный программный продукт автоматизирует и ускоряет процесс расчета показателей экономической эффективности (стоимость жизненного цикла, полезный эффект, лимитная цена) устройств контактной сети. В подтверждение новизны получены: свидетельство о государственной регистрации программного продукта и акт о внедрении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сформулировать основные результаты и сделать следующие выводы:

1. Предложена классификация консолей по скоростному режиму, которая обосновывает выбор разновидности консолей для участков контактной сети с различными скоростями движения подвижного состава.

2. Разработана математическая модель, позволяющая определить период времени, в течение которого статические параметры контактной подвески выходят за рамки допустимых норм при ее эксплуатации на скоростных и высокоскоростных участках, и требуется произвести вертикальную регулировку всей контактной подвески.

3. Разработана математическая модель, при помощи которой можно рассчитать оптимальный межрегулировочный интервал консолей контактной сети, с учетом количественного влияния точности установки консольных хомутов в проектное положение.

4. Разработана технология установки консоли на опору контактной сети (патент на изобретение РФ № 2493029 от 20.09.2013). На основании приведенной технологии была внедрена в эксплуатацию в филиалах ОАО «Российские железные дороги» технологическая карта, позволяющая установить консоль на опору контактной сети (получены акты о внедрении). При помощи указанной технологической карты научно обоснована методика экспериментального определения статических параметров контактной подвески.

5. Разработан и принят к использованию программный продукт для расчета показателей экономической эффективности (стоимость жизненного цикла, полезный экономический эффект, лимитная цена) устройств контактной сети, получены: свидетельство о государственной регистрации программного продукта и акт о внедрении. Использование программного продукта позволило рас-

считать стоимость жизненного цикла одной консоли с учетом внедрения способа монтажа, разработанного автором диссертации. За счет внедрения технологии установки консолей трудозатраты на монтаж 1 км контактной подвески с поддерживающими устройствами уменьшаются на 27,936 чел.-часов. Экономический эффект на 100 км участке составит 835 тыс. рублей, чистый дисконтированный доход за пятилетний период с учетом ежегодных затрат, налогов и уровня инфляции равен 3 800 тыс. рублей. Экономическая эффективность от предложенных мероприятий на 10 км участке составляет 3,2. Это говорит о том, что затраты меньше экономии денежных средств в 3 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жизненно важные критерии [Электронный ресурс] / ОАО «Скоростные магистрали» – М., 2012. – Режим доступа: <http://www.hsrail.ru/press-center/news/150.html> (Дата обращения 21.08.2012).

2. Микава, А.В. Создание контактной сети для высокоскоростных магистралей России / А.В. Микава // Транспорт XXI века: исследования, инновации, инфраструктура: материалы научн. – техн. Конф. Посв. 55-летию УрГУПС: в 2 т. / Уральский государственный университет путей сообщения. – Екатеринбург, 2011. – Вып. 97(180), т. 2. – С. 153-157.

3. Железные дороги мира: сборник статей. – М.: № 3, 2010. – С.9 – 22.

4. Железные дороги мира: сборник статей. – М.: № 3, 2009. – С.15 – 17.

5. Кудряшов, Е. В. Технические решения и опыт адаптации контактной сети КС-200 для скоростей движения 250 км/ч на экспериментальных анкерных участках / Е. В. Кудряшов, В. В. Журкин, А.Ю. Харитонов // Материалы третьего международного симпозиума «Элтранс-2005»: Электрификация и развитие энергосберегающей инфраструктуры и электроподвижного состава на железнодорожном транспорте. – СПб., ПГУПС, 2007. – С. 241–248.

6. Проект КС-250-3. Схемные решения и конструкции узлов контактной сети постоянного тока для скоростей движения более 200 км/ч / ЗАО «Универсал – контактные сети». – СПб., 2008. – 107 С.

7. Галкин, А.Г. Анализ научных и инженерных разработок в области технического обслуживания и ремонта контактной сети / А.Г. Галкин. – Екатеринбург, 2002. – 17 с. – Деп. В ВИНТИ 07.06.02, № 1049-В2002.

8. Галкин, А.Г. Результаты расчетов эластичности цепных подвесок / А.Г. Галкин. – Екатеринбург, 2002. – 15 с. – Деп. Во ВНИИАС МПС (ЦНИИТЭИ) 20.05.02, № 6385-жд02.

9. Ковалев, А.А. Анализ эксплуатационной надежности опор / А.А. Ковалев // Наука, инновации и образование: Актуальные проблемы развития транспортного комплекса России: материалы международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС. – 2006. – 11С.

10. Патент РФ № 2340476 на полезную модель, МПК G01B21/22 . Устройство для измерения угла наклона оси опоры контактной сети / Галкин А.Г., Ковалев А.А. – 2007125430; заявл. 07.05.2007, опубл. 10.12.2008, Бюл. № 34. – 4 с.: ил.

11. Журкин, В. В. Контактная сеть высокоскоростной магистрали Москва – Санкт-Петербург: технические требования и основные технические решения / Журкин В. В., Кудряшов Е. В., Мунькин В. В. // Материалы пятого международного симпозиума «Элтранс-2009»: Электрификация, инновационные технологии, скоростное и высокоскоростное движение на железнодорожном транспорте. – СПб.: ПГУПС. – 2010. – С. 99–103.

12. Иванов, В.А. Разработка контактной сети для высокоскоростных магистралей России / Иванов В.А., Галкин А.Г., Кудряшов Е.В., Ковалев А.А. // Инновационный транспорт. – 2011. – №1(1). – С. 16 – 22.

13. Галкин, А.Г. Разработка моделей ветровых нагрузок на контактную сеть / А.Г. Галкин. – Екатеринбург, 2002 – 10 с. – Деп. В ВИНТИ 07.06.02, № 1042-B2002.

14. Галкин, А.Г. Разработка модели электрифицированного участка / А.Г. Галкин. – Екатеринбург. – 2002, 6 с. – Деп. В ВИНТИ 07.06.02, № 1043-B2002.

15. Галкин, А.Г. Расчет контактной подвески с термокомпенсированными струнами / А.Г. Галкин. – Екатеринбург, 2002. – 10 с. Деп. В ВИНТИ 07.06.02, № 1047-B2002.

16. Галкин, А.Г. Обзор и классификация моделей расчетов взаимодействия токоприемников и контактной сети / А.Г. Галкин. – Екатеринбург, 2002. – 15 с. – Деп. В ВИНТИ 07.06.02, № 1045-B2002.

17. Типовые узлы и детали контактной сети электрифицированных железных дорог. Основные типовые решения. 4.501-26.– М.: Трансэлектропроект, 1982. – 194 с.

18. Галкин, А. Г. Теория и методы расчетов процессов проектирования и технического обслуживания контактной сети: дис. ... д-ра техн. Наук: 05.22.07 / Галкин Александр Геннадьевич – Екатеринбург, 2002. – 370 с.

19. Ефимов, А. В. Разработка конечно-элементной модели статического взаимодействия токоприемников с контактной сетью / А. В. Ефимов, А. Г. Галкин, Е. А. Польшгалова // Межвуз. Сб. науч. Тр. / СамИИТ. Самара: СамИИТ, 2002. – Вып. 23. – С. 72–75.

20. Галкин, А.Г. Разработка обобщенной системной модели контактной сети / А.Г. Галкин. – Екатеринбург, 2002. – 10 с. – Деп. Во ВНИИАС МПС (ЦНИИТЭИ) 20.05.02, № 6379–жд02.

21. Голубков, А. С. Совершенствование методов и аппаратных средств определения рациональных параметров скоростных контактных подвесок: дис. К-та техн. Наук: 05.22.07 / Голубков Антон Сергеевич – Омск, 2009. – 148 с.

22. Нормы проектирования контактной сети. СТН ЦЭ 141–99. Департамент электрификации и электроснабжения МПС РФ. – М.: Трансиздат, 2001. – 253 с.

23. Вологин, В.А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети / В.А. Вологин. – М.: Интекст, 2006. – 256 с.

24. Чучев, А.П. Контактная сеть с унифицированными параметрами / А.П. Чучев – М.: ВПТИтрансстрой, 1988. – 14 с.

25. Сидоров, О. А. Моделирование взаимодействия контактных подвесок и токоприемников электроподвижного состава с использованием средств трехмерной визуализации О.А. Сидоров, А.Н. Смердин, А.С. Голубков, В.В. Томилов // Материалы VI Международной научно-практической конференции в 5 ч. / Южно-Российский гос. Техн. Ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – Ч. 2 – С. 46 – 49.

26. Сидоров О. А., Смердин А. Н., Голубков А. С. Программное обеспечение для распознавания видеоинформации «ТехноСканер» / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613413 от 29.09.2006.

27. Галкин, А.Г. Статистическое исследование длин пролетов контактной сети / А.Г. Галкин // Межвузовский сборник научных трудов / СамИИТ. – Самара. – 2000. – Вып. 20. – Ч. 1. – С. 64.

28. Дербилов, Е. М. Повышение качества токосъема на сопряжениях анкерных участков скоростных контактных подвесок: дис. К-та техн. Наук: 05.22.07 / Дербилов Евгений Михайлович – Омск, 2012. – 151 с.

29. Ефимов, А.В. Автоматизация проектирования контактной сети и подготовка кадров /А.В. Ефимов, А.Г. Галкин, В.В. Веселов, Н.А. Кузнецов, С.Е. Садовников // Тезисы докладов Международного симпозиума *Eltrans*: Электрификация и развитие железнодорожного транспорта России. Традиции, современность, перспективы. – Спб. – 2001. – С. 58.

30. Гордон, Ш. Контактные подвески линий *TGV* / Ш. Гордон // Железные дороги мира. – 1991. – № 4. – С. 14–17.

31. Узлы контактной подвески переменного тока на изолированных консолях. Выпуск 11 (Контактная сеть электрифицированных железных дорог и воздушные линии на опорах контактной сети. Серия 7.501) – М.: – Трансэлектропроект, 1986. – 56 с.

32. Узлы контактной подвески постоянного тока на прямых неизолированных наклонных консолях. ОТУ 32–4521 – М.: Трансэлектропроект, 1994. – 91 с.

33. Орел, А.А. Обеспечение устойчивости опорных конструкций контактной сети в грунте / А.А. Орел // Железнодорожный транспорт. Электроснабжение железных дорог: ЦНИИТЭИ МПС. – 2004. – Вып. 1. – с. 12-18.

34. Галкин, А.Г. Разработка методики формирования программы технического обслуживания и ремонта контактной сети / А.Г. Галкин // Межвузовский сборник научных трудов РГОТУПС. – М., 1999 – С. 76-79.

35. Ефимов, А.В. Надежность и диагностика технических систем электропитания железных дорог / А.В. Ефимов, А.Г. Галкин. – М.: УМК, 2000. – 512 с.

36. Основные данные по климату СССР. Комплексные характеристики температуры и относительной влажности в совокупности за год. – Обнинск: ВНИИ-ГМИ-МЦД, 1975. – 106 с.

37. Проект 32-07. Конструктивные решения устройств контактной сети для постоянного тока для скорости движения до 250 км/ч // ЗАО «Универсал – контактные сети». – СПб., 2007. – 205 с.

38. Галкин, А.Г. Расчет контактной подвески с термокомпенсированными струнами / А.Г. Галкин. – Екатеринбург, 2002 – 10 с. Деп. В ВИНТИ 07.06.02, № 1047-B2002.

39. Микава, А.В. Разработка способа монтажа поддерживающих конструкций на опоре контактной сети [Текст] / А.В. Микава // Научное обозрение – 2014. – № 10 (часть 1). – С. 60–62.

40. Селектор, Э.В. Влияние струн контактной подвески на качество токосъема при высоких скоростях движения поездов / Э.В. Селектор // Ж.-д. транспорт за рубежом. Серия электрификация. АСУ: ЦНИИТЭИ МПС. – 1998. – Вып. 1 – С. 6-9.

41. Селектор, Э.В. Контактная подвеска для высокоскоростного движения / Э.В. Селектор // Ж.-д. транспорт за рубежом. Серия электрификация. Автоматика и связь. АСУ: ЦНИИТЭИ МПС. – 1998. – Вып. 5-6. – С. 5-8.

42. Бауэр, К.-Х. Влияние конструктивных параметров на токосъем контактной сети при высоких скоростях движения – теория и эксперимент / К.-Х. Бауэр // *Elek. Bahnen*. – 1987. – № 10. – С. 269-279.

43. Вологин, В.А. Обеспечение надежного токосъема в зоне ИССО без увеличения габарита при повышении скорости движения / В.А. Вологин. – М., 2001. – 34 с.

44. Микава, А.В. Мониторинг инфраструктурного комплекса системы токосъема в процессе эксплуатации / А.Г. Галкин, А.А. Ковалев, А.В. Микава // *Инновационный транспорт*. – 2012. – № 1(2). – С. 44–48. – ISSN 2311-164X.

45. Абрамов, А.П. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте / А.П. Абрамов. – М., 1998. – 123 с.

46. Микава, А.В. Применение контракта жизненного цикла для инфраструктурного комплекса системы токосъема / А.Г. Галкин, А.А. Ковалев, А.В. Микава // *Транспорт Урала*. – 2012. – № 3 (34). – С. 85-89. – ISSN 1815-9400.

47. Контракт жизненного цикла [Электронный ресурс] / ОАО «Скоростные магистрали» – М., 2012. – Режим доступа: <http://www.hsrail.ru/press-center/news/150.html> (Дата обращения 20.08.2012).

48. Ефимов, А.В. Развитие теории проектирования контактной сети на основе учета продолжительности ее жизненного цикла / А.В. Ефимов, А.Г. Галкин // Транспорт Урала. – 2004. – № 1. – С. 53-59.

49. Проекты скоростного транспорта «РЖД»: ВСЖМ-1 [Электронный ресурс] / ОАО «Российские железные дороги» – М., 2012. – Режим доступа: <http://www.pro-rzd.com/oao-rzhd/proekty-skorostnogo-transporta-rzhd-vszhm-1.html> (Дата обращения 09.07.2012).

50. Кострикин, К.О. Стоимость жизненного цикла железнодорожного подвижного состава / К.О. Кострикин, И.А. Скок // Экономика железных дорог. – 2012. – № 1. – С. 32 – 41.

51. Распоряжение ОАО «РЖД» от 27 декабря 2007 г. № 2459р «О методике определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены сложных технических систем железнодорожного транспорта». – М.: ОАО «РЖД», 2007. – С. 44.

52. ВСМ окупаются хоть и косвенно [Электронный ресурс] / ОАО «Скоростные магистрали» – М., 2012. – Режим доступа: <http://www.hsrail.ru/press-center/news/148.html> (Дата обращения 19.08.2012).

53. Концепция комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте (редакция 1.1). – М.: ОАО «РЖД», 2010. – 132 с.

54. Методика оценки рисков для контактной сети. – М.: ОАО «РЖД», 2012. – 40 с.

55. Микава, А.В. Определение стоимости жизненного цикла сложных технических систем [Электронный ресурс] / А.А. Ковалев, А.В. Микава, А.В. Окунев // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2013. – № 50. – Режим доступа: <http://uecs.ru/marketing/item/1968-2013-02-06-08-06-58>.

56. Микава, А.В. Реализация проектов электроэнергетики с применением контракта жизненного цикла / А.Г. Галкин, А.А. Ковалев, А.В. Микава // Промышленная энергетика. – 2013. – № 4. – С. 5–8. – ISSN 033-1155.

57. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем: учебное пособие – 2-е издание, переработанное и дополненное / Е.В. Бережная, В.И. Бережной – М.: Финансы и статистика, 2006. – 432 с.

58. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013613993. Расчет стоимости жизненного цикла сложных технических систем / Галкин А.Г., Ковалев А.А., Микава А.В., Окунев А.В.; заявл. 01.03.2013, зарег. 22.04.2013.

59. Микава, А.В. Применение спиральной модели жизненного цикла для разработки инновационного программного продукта / А.А. Ковалев, А.В. Микава, А.В. Окунев. // Инновации и инвестиции. – 2013. – № 4. – С. 19–23. – ISSN 2307-180X.

60. Микава, А.В. Комплексное внедрение инноваций на железнодорожном транспорте России / А.А. Ковалев, А.В. Микава, Ф.С. Несмелов, А.А. Кардаполов, Н.А. // Транспортное дело России. – 2013. – № 4 (107). – С. 24–26. – ISSN 2072-8689.

61. Ташевский, А.Г. Математические модели продолжительности жизненного цикла технических систем / А.Г. Ташевский // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2014. – № 1(190). – С. 169-178.

62. Патент РФ № 2164875 на изобретение, МПК В60М1/12, В60М1/28 . Способ монтажа консолей на опорах электрифицированных железных дорог / Кудряшов В. Е., Кудряшов Е.В., Иванов А.В., Лаврентьев А.Ф., Мунькин В.В. – 99108321; заявл. 19.04.199, опубл. 10.02.2001, Бюл. № 19. – 8 с.: ил.

63. Микава, А.В. Разработка метода расчета жизненного цикла контактной подвески / А.Г. Галкин, А.А. Ковалев, А.В. Микава, А.В. Окунев // Транспорт Урала. – 2013. – № 3 (38). – С. 99–102. – ISSN 1815-9400.

64. Технологические карты на работы по содержанию и ремонту устройств контактной сети электрифицированных железных дорог. Книга I. Капитальный ремонт. ЦЭ № 197-5/3. Департамент электрификации и электроснабжения МПС РФ. – М.: Трансиздат, 1997. – 311 с.

65. Нормы по производству и приемке строительных и монтажных работ при электрификации железных дорог (устройства контактной сети). СТН ЦЭ 12–00. Департамент электрификации и электроснабжения МПС РФ. – М. : Трансиздат, 2000. – 88 с.

66. Патент РФ № 2493029 на изобретение, МПК В60М1/20. Способ монтажа консоли на опоре контактной сети железных работ / Микава А.В., Ковалев А.А. – 2012109082/11; заявл. 11.03.2012, опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26. – 5 с.: ил.

67. Европейский нормативный документ UIC 799 «Параметры контактных подвесок переменного тока для скоростей движения свыше 200 км/ч».

68. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. ЦЭ – 868. Департамент электрификации и электроснабжения. – М. : Трансиздат, 2001. – 184 с.

69. ГОСТ Р 8.736–2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2013. – 24 с.

70. ПМГ 96-2009 «ГСИ. Результаты и характеристики качества измерений. Формы представления». – М.: Стандартинформ, 2010. – 5 с.

71. Kiessling, F. Contact lines for electric railways: planning, design, implementation. / F. Kiessling, R. Puschman, A. Schmider – Siemens, 2001. – 822 p.

72. Методика расчета экономически обоснованных цен на новые модели подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта. – М.: Институт проблем естественных монополий, 2009. – 13 с.

73. Распоряжение ОАО «РЖД» от 28 ноября 2008 г. № 2538р «Методические рекомендации по расчету экономической эффективности новой техники, технологии, объектов интеллектуальной собственности и рационализаторских предложений». – М.: ОАО «РЖД», 2008. – 56 с.

74. Bauer, K. – H., Kiessling, F. Aluminium components for overhead contact wire systems / K. – H. Bauer , F. Kiessling // Rail International, 1987. № 4. P. 15-17.

75. Ikeda, K., Optimization of overhead contact lines for Shinkansen speed increases / K. Ikeda //JR EAST Technical Review, 2008, №12, Summer, P.64-69

76. Распоряжение ОАО «РЖД» от 25 января 2012 г. № 126р «Об утверждении Норм времени и нормативов численности на техническое обслуживание и текущий ремонт контактной сети электрифицированных железных дорог». – М.: ОАО «РЖД», 2012. – С. 49.

77. Положение о корпоративной системе оплаты труда работников филиалов и структурных подразделений ОАО «РЖД». – М.: ОАО «РЖД», 2007. – С. 61.

78. Ковалев А. А. Формирование управляющих воздействий на контактной сети с учетом процесса разрегулировок опор: дис. ... канд. Техн. Наук: 05.22.07 / Ковалев Алексей Анатольевич. — Екатеринбург, 2008. — 234 с.

79. Романовский, И.В. Дискретный анализ: учебное пособие. – 3-е издание, переработанное и дополненное / И.В. Романовский. – СПб.: Невский Диалект, 2003. – 320 с.: ил. – ISBN 5-7940-0114-3.

80. Михеев, В.П. Контактные сети и линии электропередачи: Учебник для вузов железнодорожного транспорта / В.П. Михеев – М.: Маршрут, 2003. – 416 с. – ISBN 5-89035-086-2.

81. Анализ работы хозяйства электрификации и электроснабжения в 2011 году. Управление электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», – М., 2011. – 114 с.

82. Анализ работы хозяйства электрификации и электроснабжения в 2012 году. Управление электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», – М., 2012. – 116 с.

83. Анализ работы хозяйства электрификации и электроснабжения в 2013 году. Управление электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», – М., 2013. – 122 с.

84. Анализ работы хозяйства электрификации и электроснабжения в 2014 году. Управление электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», – М., 2014. – 112 с.

85. Анализ работы хозяйства электрификации и электроснабжения в 2015 году. Управление электрификации и электроснабжения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», – М., 2015. – 109 с.

86. Европейский нормативный документ UIC 799-1 «Параметры контактных подвесок постоянного тока для скоростей движения от 160 до 250 км/ч».
87. Европейский нормативный документ UIC 794 «Взаимодействие токоприемника и контактной подвески на европейской высокоскоростной сети».
88. Микава, А.В. Расчет продолжительности жизненного цикла консолей контактной сети [Текст] / А.В. Микава // Транспортное дело России – 2015. – № 5. – С. 150–152. – ISSN 2072-8689.
89. Микава, А.В. Разработка математической модели положения консоли по высоте опоры / А.В. Микава, А.А. Ковалев // Инновационный транспорт. – 2016. – № 2(20). – С. 42–49. – ISSN 2311–164X.
90. Беляев И.А. Устройства контактной сети на зарубежных дорогах. – М.: Транспорт, 1991. – 192 с. – ISBN 5-277-01200-1.
91. Демченко А.Т. Пространственные контактные подвески. – М.: Транспорт, 1991. – 175 с. – ISBN 5-277-00645-1.
92. Чекулаев В.Е., Зайцев А.И. Восстановление контактной сети и воздушных линий. – М.: Транспорт, 1992. – 128 с. – ISBN 5-277-01416-0.
93. Беляев И.А. Устройство и обслуживание контактной сети при высокоскоростном движении. – М.: Транспорт, 1989. – 144 с. – ISBN 5-277-00549-8.
94. Коптев А.А. Монтаж контактной сети переменного тока. – М.: Транспорт, 1965. – 148 с.
95. Кондратьев, А.И. Методика входного неразрушающего контроля зажимов контактной сети / А.И. Кондратьев, В.Н. Ли, И.В. Игнатенко, С.Н. Химухин // Транспорт Урала. – 2010. – № 1. – С. 72-74. – ISSN 1815-9400.
96. Кондратьев, А.И. Контроль состояния контактного провода ультразвуковым методом диагностики / А.И. Кондратьев, В.Н. Ли, Е.А. Титов // Транспорт Урала. – 2008. – № 4. – С. 86-89. – ISSN 1815-9400.
97. Микава, А.В. Разработка метода расчета лимитной цены элементов инфраструктурного комплекса системы токосъема / А.В. Микава // Межвузовский тематический сборник научных трудов / Омский государственный университет путей сообщения. Омск, 2013. – С. 58-61.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Результаты измерений расстояний от уровня головки рельса до нижней точки крепления консоли к опоре контактной сети

Таблица А.1 – Результаты измерений в 1-ом полугодии 2014 года (нечетная нумерация опор)

| № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм |
|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|
| 1 | 5696 | 91 | 5692 | 181 | 5694 | 271 | 5689 |
| 3 | 5726 | 93 | 5740 | 183 | 5725 | 273 | 5734 |
| 5 | 5671 | 95 | 5702 | 185 | 5750 | 275 | 5669 |
| 7 | 5689 | 97 | 5684 | 187 | 5734 | 277 | 5690 |
| 9 | 5721 | 99 | 5719 | 189 | 5699 | 279 | 5711 |
| 11 | 5742 | 101 | 5704 | 191 | 5678 | 281 | 5673 |
| 13 | 5658 | 103 | 5665 | 193 | 5699 | 283 | 5702 |
| 15 | 5697 | 105 | 5714 | 195 | 5689 | 285 | 5661 |
| 17 | 5662 | 107 | 5677 | 197 | 5743 | 287 | 5733 |
| 19 | 5710 | 109 | 5726 | 199 | 5703 | 289 | 5684 |
| 21 | 5739 | 111 | 5714 | 201 | 5656 | 291 | 5734 |
| 23 | 5669 | 113 | 5660 | 203 | 5707 | 293 | 5660 |
| 25 | 5728 | 115 | 5690 | 205 | 5694 | 295 | 5692 |
| 27 | 5692 | 117 | 5709 | 207 | 5716 | 297 | 5736 |
| 29 | 5678 | 119 | 5659 | 209 | 5664 | 299 | 5692 |
| 31 | 5701 | 121 | 5738 | 211 | 5717 | 301 | 5747 |
| 33 | 5739 | 123 | 5703 | 213 | 5688 | 303 | 5676 |
| 35 | 5658 | 125 | 5678 | 215 | 5669 | 305 | 5700 |
| 37 | 5702 | 127 | 5738 | 217 | 5713 | 307 | 5657 |
| 39 | 5750 | 129 | 5696 | 219 | 5651 | 309 | 5688 |
| 41 | 5664 | 131 | 5659 | 221 | 5745 | 311 | 5754 |
| 43 | 5687 | 133 | 5687 | 223 | 5686 | 313 | 5694 |
| 45 | 5648 | 135 | 5723 | 225 | 5701 | 315 | 5717 |
| 47 | 5741 | 137 | 5694 | 227 | 5665 | 317 | 5692 |
| 49 | 5681 | 139 | 5676 | 229 | 5720 | 319 | 5652 |
| 51 | 5718 | 141 | 5721 | 231 | 5751 | 321 | 5687 |
| 53 | 5680 | 143 | 5657 | 233 | 5667 | 323 | 5669 |
| 55 | 5715 | 145 | 5699 | 235 | 5707 | 325 | 5744 |
| 57 | 5745 | 147 | 5656 | 237 | 5647 | 327 | 5678 |
| 59 | 5658 | 149 | 5711 | 239 | 5708 | 329 | 5711 |
| 61 | 5703 | 151 | 5662 | 241 | 5681 | 331 | 5658 |
| 63 | 5657 | 153 | 5691 | 243 | 5703 | 333 | 5736 |
| 65 | 5708 | 155 | 5724 | 245 | 5659 | 335 | 5692 |
| 67 | 5682 | 157 | 5669 | 247 | 5742 | 337 | 5748 |
| 69 | 5707 | 159 | 5699 | 249 | 5693 | 339 | 5689 |
| 71 | 5683 | 161 | 5689 | 251 | 5682 | 341 | 5724 |
| 73 | 5724 | 163 | 5656 | 253 | 5699 | 343 | 5680 |
| 75 | 5659 | 165 | 5720 | 255 | 5674 | 345 | 5705 |
| 77 | 5738 | 167 | 5694 | 257 | 5723 | 347 | 5660 |
| 79 | 5681 | 169 | 5728 | 259 | 5659 | 349 | 5722 |
| 81 | 5718 | 171 | 5696 | 261 | 5703 | 351 | 5752 |
| 83 | 5686 | 173 | 5682 | 263 | 5680 | 353 | 5695 |
| 85 | 5743 | 175 | 5721 | 265 | 5711 | 355 | 5704 |
| 87 | 5660 | 177 | 5690 | 267 | 5663 | 357 | 5671 |
| 89 | 5744 | 179 | 5662 | 269 | 5696 | 359 | 5686 |

Таблица А.2 – Результаты измерений в 1-ом полугодии 2014 года (четная нумерация опор)

| № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм |
|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|
| 2 | 5706 | 92 | 5681 | 182 | 5704 | 272 | 5696 |
| 4 | 5669 | 94 | 5718 | 184 | 5678 | 274 | 5687 |
| 6 | 5724 | 96 | 5694 | 186 | 5719 | 276 | 5711 |
| 8 | 5678 | 98 | 5653 | 188 | 5694 | 278 | 5681 |
| 10 | 5698 | 100 | 5732 | 190 | 5667 | 280 | 5704 |
| 12 | 5706 | 102 | 5690 | 192 | 5691 | 282 | 5670 |
| 14 | 5658 | 104 | 5668 | 194 | 5661 | 284 | 5693 |
| 16 | 5731 | 106 | 5688 | 196 | 5707 | 286 | 5706 |
| 18 | 5664 | 108 | 5712 | 198 | 5680 | 288 | 5695 |
| 20 | 5708 | 110 | 5678 | 200 | 5713 | 290 | 5674 |
| 22 | 5726 | 112 | 5711 | 202 | 5685 | 292 | 5706 |
| 24 | 5670 | 114 | 5686 | 204 | 5694 | 294 | 5657 |
| 26 | 5679 | 116 | 5706 | 206 | 5681 | 296 | 5687 |
| 28 | 5696 | 118 | 5669 | 208 | 5720 | 298 | 5663 |
| 30 | 5738 | 120 | 5712 | 210 | 5689 | 300 | 5690 |
| 32 | 5681 | 122 | 5687 | 212 | 5664 | 302 | 5702 |
| 34 | 5705 | 124 | 5677 | 214 | 5695 | 304 | 5686 |
| 36 | 5653 | 126 | 5695 | 216 | 5666 | 306 | 5680 |
| 38 | 5686 | 128 | 5656 | 218 | 5710 | 308 | 5708 |
| 40 | 5749 | 130 | 5694 | 220 | 5689 | 310 | 5681 |
| 42 | 5685 | 132 | 5685 | 222 | 5678 | 312 | 5695 |
| 44 | 5708 | 134 | 5705 | 224 | 5699 | 314 | 5672 |
| 46 | 5753 | 136 | 5668 | 226 | 5676 | 316 | 5691 |
| 48 | 5680 | 138 | 5689 | 228 | 5710 | 318 | 5672 |
| 50 | 5708 | 140 | 5665 | 230 | 5683 | 320 | 5689 |
| 52 | 5663 | 142 | 5684 | 232 | 5698 | 322 | 5675 |
| 54 | 5687 | 144 | 5701 | 234 | 5715 | 324 | 5702 |
| 56 | 5739 | 146 | 5681 | 236 | 5681 | 326 | 5650 |
| 58 | 5682 | 148 | 5697 | 238 | 5700 | 328 | 5695 |
| 60 | 5736 | 150 | 5670 | 240 | 5710 | 330 | 5682 |
| 62 | 5677 | 152 | 5687 | 242 | 5667 | 332 | 5702 |
| 64 | 5696 | 154 | 5718 | 244 | 5697 | 334 | 5670 |
| 66 | 5658 | 156 | 5669 | 246 | 5686 | 336 | 5676 |
| 68 | 5690 | 158 | 5692 | 248 | 5659 | 338 | 5692 |
| 70 | 5652 | 160 | 5678 | 250 | 5724 | 340 | 5678 |
| 72 | 5726 | 162 | 5713 | 252 | 5692 | 342 | 5691 |
| 74 | 5676 | 164 | 5683 | 254 | 5698 | 344 | 5655 |
| 76 | 5718 | 166 | 5694 | 256 | 5674 | 346 | 5683 |
| 78 | 5681 | 168 | 5723 | 258 | 5715 | 348 | 5687 |
| 80 | 5702 | 170 | 5689 | 260 | 5683 | 350 | 5684 |
| 82 | 5669 | 172 | 5677 | 262 | 5701 | 352 | 5679 |
| 84 | 5692 | 174 | 5702 | 264 | 5670 | 354 | 5686 |
| 86 | 5719 | 176 | 5679 | 266 | 5689 | 356 | 5681 |
| 88 | 5683 | 178 | 5703 | 268 | 5705 | 358 | 5661 |
| 90 | 5700 | 180 | 5675 | 270 | 5681 | 360 | 5684 |

Таблица А.3 – Результаты измерений во 2-ом полугодии 2014 года (нечетная нумерация опор)

| № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм |
|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|
| 1 | 5696 | 91 | 5692 | 181 | 5694 | 271 | 5689 |
| 3 | 5726 | 93 | 5750 | 183 | 5725 | 273 | 5734 |
| 5 | 5671 | 95 | 5702 | 185 | 5750 | 275 | 5669 |
| 7 | 5689 | 97 | 5684 | 187 | 5734 | 277 | 5690 |
| 9 | 5721 | 99 | 5719 | 189 | 5699 | 279 | 5711 |
| 11 | 5752 | 101 | 5704 | 191 | 5678 | 281 | 5673 |
| 13 | 5659 | 103 | 5675 | 193 | 5699 | 283 | 5702 |
| 15 | 5697 | 105 | 5714 | 195 | 5689 | 285 | 5671 |
| 17 | 5670 | 107 | 5677 | 197 | 5743 | 287 | 5723 |
| 19 | 5710 | 109 | 5726 | 199 | 5703 | 289 | 5684 |
| 21 | 5739 | 111 | 5714 | 201 | 5646 | 291 | 5724 |
| 23 | 5669 | 113 | 5650 | 203 | 5707 | 293 | 5670 |
| 25 | 5718 | 115 | 5690 | 205 | 5694 | 295 | 5692 |
| 27 | 5692 | 117 | 5709 | 207 | 5716 | 297 | 5736 |
| 29 | 5678 | 119 | 5649 | 209 | 5654 | 299 | 5692 |
| 31 | 5701 | 121 | 5738 | 211 | 5717 | 301 | 5747 |
| 33 | 5739 | 123 | 5703 | 213 | 5688 | 303 | 5676 |
| 35 | 5658 | 125 | 5678 | 215 | 5669 | 305 | 5700 |
| 37 | 5702 | 127 | 5738 | 217 | 5713 | 307 | 5657 |
| 39 | 5740 | 129 | 5696 | 219 | 5651 | 309 | 5688 |
| 41 | 5664 | 131 | 5659 | 221 | 5745 | 311 | 5754 |
| 43 | 5687 | 133 | 5687 | 223 | 5686 | 313 | 5694 |
| 45 | 5648 | 135 | 5723 | 225 | 5701 | 315 | 5717 |
| 47 | 5741 | 137 | 5694 | 227 | 5665 | 317 | 5692 |
| 49 | 5671 | 139 | 5666 | 229 | 5720 | 319 | 5652 |
| 51 | 5718 | 141 | 5721 | 231 | 5741 | 321 | 5687 |
| 53 | 5680 | 143 | 5657 | 233 | 5667 | 323 | 5669 |
| 55 | 5715 | 145 | 5699 | 235 | 5707 | 325 | 5744 |
| 57 | 5745 | 147 | 5656 | 237 | 5647 | 327 | 5668 |
| 59 | 5658 | 149 | 5711 | 239 | 5708 | 329 | 5711 |
| 61 | 5703 | 151 | 5662 | 241 | 5681 | 331 | 5658 |
| 63 | 5657 | 153 | 5691 | 243 | 5703 | 333 | 5726 |
| 65 | 5708 | 155 | 5724 | 245 | 5659 | 335 | 5692 |
| 67 | 5672 | 157 | 5669 | 247 | 5732 | 337 | 5738 |
| 69 | 5707 | 159 | 5699 | 249 | 5693 | 339 | 5689 |
| 71 | 5683 | 161 | 5679 | 251 | 5682 | 341 | 5724 |
| 73 | 5724 | 163 | 5656 | 253 | 5699 | 343 | 5680 |
| 75 | 5659 | 165 | 5730 | 255 | 5674 | 345 | 5705 |
| 77 | 5738 | 167 | 5694 | 257 | 5733 | 347 | 5660 |
| 79 | 5681 | 169 | 5728 | 259 | 5659 | 349 | 5732 |
| 81 | 5718 | 171 | 5696 | 261 | 5703 | 351 | 5752 |
| 83 | 5686 | 173 | 5682 | 263 | 5680 | 353 | 5695 |
| 85 | 5743 | 175 | 5721 | 265 | 5711 | 355 | 5704 |
| 87 | 5660 | 177 | 5690 | 267 | 5663 | 357 | 5671 |
| 89 | 5744 | 179 | 5662 | 269 | 5696 | 359 | 5686 |

Таблица А.4 – Результаты измерений во 2-ом полугодии 2014 года (четная нумерация опор)

| № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм |
|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|
| 2 | 5706 | 92 | 5681 | 182 | 5704 | 272 | 5696 |
| 4 | 5669 | 94 | 5718 | 184 | 5678 | 274 | 5687 |
| 6 | 5714 | 96 | 5694 | 186 | 5709 | 276 | 5701 |
| 8 | 5678 | 98 | 5663 | 188 | 5694 | 278 | 5681 |
| 10 | 5698 | 100 | 5732 | 190 | 5667 | 280 | 5704 |
| 12 | 5706 | 102 | 5690 | 192 | 5691 | 282 | 5670 |
| 14 | 5658 | 104 | 5668 | 194 | 5661 | 284 | 5693 |
| 16 | 5731 | 106 | 5688 | 196 | 5707 | 286 | 5706 |
| 18 | 5664 | 108 | 5712 | 198 | 5680 | 288 | 5695 |
| 20 | 5708 | 110 | 5678 | 200 | 5713 | 290 | 5674 |
| 22 | 5726 | 112 | 5711 | 202 | 5685 | 292 | 5726 |
| 24 | 5670 | 114 | 5686 | 204 | 5694 | 294 | 5657 |
| 26 | 5679 | 116 | 5706 | 206 | 5681 | 296 | 5687 |
| 28 | 5696 | 118 | 5669 | 208 | 5710 | 298 | 5663 |
| 30 | 5738 | 120 | 5712 | 210 | 5679 | 300 | 5690 |
| 32 | 5691 | 122 | 5687 | 212 | 5664 | 302 | 5702 |
| 34 | 5705 | 124 | 5677 | 214 | 5695 | 304 | 5686 |
| 36 | 5653 | 126 | 5695 | 216 | 5666 | 306 | 5680 |
| 38 | 5696 | 128 | 5656 | 218 | 5700 | 308 | 5718 |
| 40 | 5749 | 130 | 5694 | 220 | 5689 | 310 | 5681 |
| 42 | 5685 | 132 | 5685 | 222 | 5678 | 312 | 5695 |
| 44 | 5718 | 134 | 5705 | 224 | 5689 | 314 | 5672 |
| 46 | 5753 | 136 | 5668 | 226 | 5668 | 316 | 5691 |
| 48 | 5670 | 138 | 5689 | 228 | 5700 | 318 | 5672 |
| 50 | 5708 | 140 | 5665 | 230 | 5683 | 320 | 5689 |
| 52 | 5663 | 142 | 5684 | 232 | 5698 | 322 | 5675 |
| 54 | 5687 | 144 | 5701 | 234 | 5725 | 324 | 5702 |
| 56 | 5739 | 146 | 5681 | 236 | 5681 | 326 | 5660 |
| 58 | 5682 | 148 | 5687 | 238 | 5700 | 328 | 5695 |
| 60 | 5736 | 150 | 5660 | 240 | 5710 | 330 | 5682 |
| 62 | 5677 | 152 | 5687 | 242 | 5657 | 332 | 5702 |
| 64 | 5686 | 154 | 5718 | 244 | 5697 | 334 | 5661 |
| 66 | 5658 | 156 | 5669 | 246 | 5686 | 336 | 5676 |
| 68 | 5690 | 158 | 5692 | 248 | 5659 | 338 | 5692 |
| 70 | 5662 | 160 | 5678 | 250 | 5724 | 340 | 5678 |
| 72 | 5726 | 162 | 5713 | 252 | 5692 | 342 | 5691 |
| 74 | 5676 | 164 | 5683 | 254 | 5698 | 344 | 5655 |
| 76 | 5718 | 166 | 5704 | 256 | 5674 | 346 | 5683 |
| 78 | 5681 | 168 | 5723 | 258 | 5715 | 348 | 5687 |
| 80 | 5702 | 170 | 5689 | 260 | 5683 | 350 | 5684 |
| 82 | 5669 | 172 | 5677 | 262 | 5701 | 352 | 5679 |
| 84 | 5682 | 174 | 5702 | 264 | 5670 | 354 | 5696 |
| 86 | 5719 | 176 | 5679 | 266 | 5679 | 356 | 5681 |
| 88 | 5683 | 178 | 5703 | 268 | 5705 | 358 | 5661 |
| 90 | 5700 | 180 | 5675 | 270 | 5681 | 360 | 5684 |

Таблица А.5 – Результаты измерений в 1-ом полугодии 2015 года (нечетная нумерация опор)

| № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм |
|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|
| 1 | 5696 | 91 | 5692 | 181 | 5694 | 271 | 5689 |
| 3 | 5716 | 93 | 5750 | 183 | 5715 | 273 | 5734 |
| 5 | 5671 | 95 | 5702 | 185 | 5740 | 275 | 5669 |
| 7 | 5689 | 97 | 5684 | 187 | 5734 | 277 | 5690 |
| 9 | 5721 | 99 | 5709 | 189 | 5699 | 279 | 5711 |
| 11 | 5750 | 101 | 5704 | 191 | 5678 | 281 | 5673 |
| 13 | 5660 | 103 | 5665 | 193 | 5699 | 283 | 5702 |
| 15 | 5697 | 105 | 5714 | 195 | 5689 | 285 | 5671 |
| 17 | 5670 | 107 | 5677 | 197 | 5743 | 287 | 5713 |
| 19 | 5710 | 109 | 5726 | 199 | 5703 | 289 | 5684 |
| 21 | 5739 | 111 | 5714 | 201 | 5666 | 291 | 5714 |
| 23 | 5659 | 113 | 5652 | 203 | 5707 | 293 | 5670 |
| 25 | 5708 | 115 | 5690 | 205 | 5694 | 295 | 5692 |
| 27 | 5692 | 117 | 5709 | 207 | 5716 | 297 | 5736 |
| 29 | 5668 | 119 | 5657 | 209 | 5654 | 299 | 5692 |
| 31 | 5701 | 121 | 5738 | 211 | 5717 | 301 | 5737 |
| 33 | 5749 | 123 | 5703 | 213 | 5688 | 303 | 5666 |
| 35 | 5658 | 125 | 5666 | 215 | 5669 | 305 | 5700 |
| 37 | 5702 | 127 | 5738 | 217 | 5703 | 307 | 5667 |
| 39 | 5750 | 129 | 5696 | 219 | 5651 | 309 | 5688 |
| 41 | 5664 | 131 | 5659 | 221 | 5745 | 311 | 5744 |
| 43 | 5677 | 133 | 5677 | 223 | 5686 | 313 | 5684 |
| 45 | 5659 | 135 | 5723 | 225 | 5701 | 315 | 5717 |
| 47 | 5751 | 137 | 5694 | 227 | 5675 | 317 | 5692 |
| 49 | 5671 | 139 | 5666 | 229 | 5720 | 319 | 5660 |
| 51 | 5718 | 141 | 5721 | 231 | 5741 | 321 | 5687 |
| 53 | 5680 | 143 | 5657 | 233 | 5667 | 323 | 5669 |
| 55 | 5715 | 145 | 5699 | 235 | 5704 | 325 | 5744 |
| 57 | 5745 | 147 | 5656 | 237 | 5659 | 327 | 5668 |
| 59 | 5658 | 149 | 5701 | 239 | 5708 | 329 | 5701 |
| 61 | 5703 | 151 | 5662 | 241 | 5691 | 331 | 5658 |
| 63 | 5657 | 153 | 5691 | 243 | 5703 | 333 | 5716 |
| 65 | 5708 | 155 | 5724 | 245 | 5659 | 335 | 5692 |
| 67 | 5672 | 157 | 5669 | 247 | 5722 | 337 | 5738 |
| 69 | 5702 | 159 | 5699 | 249 | 5693 | 339 | 5689 |
| 71 | 5673 | 161 | 5679 | 251 | 5682 | 341 | 5724 |
| 73 | 5724 | 163 | 5656 | 253 | 5699 | 343 | 5672 |
| 75 | 5659 | 165 | 5720 | 255 | 5664 | 345 | 5705 |
| 77 | 5738 | 167 | 5694 | 257 | 5723 | 347 | 5660 |
| 79 | 5681 | 169 | 5728 | 259 | 5669 | 349 | 5722 |
| 81 | 5718 | 171 | 5696 | 261 | 5703 | 351 | 5742 |
| 83 | 5676 | 173 | 5682 | 263 | 5670 | 353 | 5684 |
| 85 | 5743 | 175 | 5721 | 265 | 5711 | 355 | 5704 |
| 87 | 5660 | 177 | 5681 | 267 | 5663 | 357 | 5671 |
| 89 | 5744 | 179 | 5662 | 269 | 5696 | 359 | 5686 |

Таблица А.6 – Результаты измерений в 1-ом полугодии 2015 года (четная нумерация опор)

| № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм |
|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|
| 2 | 5706 | 92 | 5691 | 182 | 5704 | 272 | 5696 |
| 4 | 5669 | 94 | 5728 | 184 | 5678 | 274 | 5697 |
| 6 | 5714 | 96 | 5694 | 186 | 5709 | 276 | 5701 |
| 8 | 5678 | 98 | 5653 | 188 | 5694 | 278 | 5681 |
| 10 | 5698 | 100 | 5732 | 190 | 5667 | 280 | 5704 |
| 12 | 5706 | 102 | 5690 | 192 | 5691 | 282 | 5670 |
| 14 | 5668 | 104 | 5668 | 194 | 5661 | 284 | 5693 |
| 16 | 5731 | 106 | 5688 | 196 | 5707 | 286 | 5706 |
| 18 | 5664 | 108 | 5722 | 198 | 5680 | 288 | 5695 |
| 20 | 5708 | 110 | 5678 | 200 | 5713 | 290 | 5674 |
| 22 | 5726 | 112 | 5721 | 202 | 5685 | 292 | 5726 |
| 24 | 5660 | 114 | 5676 | 204 | 5694 | 294 | 5647 |
| 26 | 5679 | 116 | 5716 | 206 | 5681 | 296 | 5687 |
| 28 | 5696 | 118 | 5669 | 208 | 5710 | 298 | 5663 |
| 30 | 5728 | 120 | 5722 | 210 | 5679 | 300 | 5690 |
| 32 | 5701 | 122 | 5697 | 212 | 5664 | 302 | 5702 |
| 34 | 5705 | 124 | 5677 | 214 | 5695 | 304 | 5686 |
| 36 | 5654 | 126 | 5695 | 216 | 5656 | 306 | 5680 |
| 38 | 5696 | 128 | 5656 | 218 | 5700 | 308 | 5718 |
| 40 | 5749 | 130 | 5684 | 220 | 5699 | 310 | 5681 |
| 42 | 5675 | 132 | 5692 | 222 | 5678 | 312 | 5695 |
| 44 | 5728 | 134 | 5705 | 224 | 5689 | 314 | 5662 |
| 46 | 5753 | 136 | 5668 | 226 | 5668 | 316 | 5691 |
| 48 | 5670 | 138 | 5689 | 228 | 5700 | 318 | 5672 |
| 50 | 5708 | 140 | 5665 | 230 | 5683 | 320 | 5699 |
| 52 | 5663 | 142 | 5684 | 232 | 5698 | 322 | 5675 |
| 54 | 5687 | 144 | 5701 | 234 | 5725 | 324 | 5692 |
| 56 | 5729 | 146 | 5681 | 236 | 5681 | 326 | 5660 |
| 58 | 5682 | 148 | 5687 | 238 | 5690 | 328 | 5695 |
| 60 | 5726 | 150 | 5660 | 240 | 5710 | 330 | 5682 |
| 62 | 5667 | 152 | 5677 | 242 | 5659 | 332 | 5702 |
| 64 | 5686 | 154 | 5718 | 244 | 5697 | 334 | 5650 |
| 66 | 5646 | 156 | 5669 | 246 | 5686 | 336 | 5676 |
| 68 | 5690 | 158 | 5692 | 248 | 5649 | 338 | 5692 |
| 70 | 5662 | 160 | 5678 | 250 | 5724 | 340 | 5678 |
| 72 | 5726 | 162 | 5713 | 252 | 5692 | 342 | 5691 |
| 74 | 5676 | 164 | 5683 | 254 | 5698 | 344 | 5650 |
| 76 | 5728 | 166 | 5704 | 256 | 5674 | 346 | 5683 |
| 78 | 5681 | 168 | 5733 | 258 | 5715 | 348 | 5687 |
| 80 | 5702 | 170 | 5689 | 260 | 5683 | 350 | 5674 |
| 82 | 5669 | 172 | 5677 | 262 | 5701 | 352 | 5679 |
| 84 | 5682 | 174 | 5692 | 264 | 5670 | 354 | 5686 |
| 86 | 5729 | 176 | 5679 | 266 | 5669 | 356 | 5681 |
| 88 | 5683 | 178 | 5703 | 268 | 5695 | 358 | 5671 |
| 90 | 5690 | 180 | 5675 | 270 | 5681 | 360 | 5684 |

Таблица А.7 – Результаты измерений во 2-ом полугодии 2015 года (нечетная нумерация опор)

| № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм |
|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|
| 1 | 5696 | 91 | 5692 | 181 | 5694 | 271 | 5689 |
| 3 | 5726 | 93 | 5740 | 183 | 5703 | 273 | 5734 |
| 5 | 5671 | 95 | 5702 | 185 | 5740 | 275 | 5659 |
| 7 | 5689 | 97 | 5684 | 187 | 5734 | 277 | 5690 |
| 9 | 5731 | 99 | 5702 | 189 | 5688 | 279 | 5701 |
| 11 | 5744 | 101 | 5704 | 191 | 5678 | 281 | 5663 |
| 13 | 5654 | 103 | 5675 | 193 | 5689 | 283 | 5702 |
| 15 | 5697 | 105 | 5704 | 195 | 5689 | 285 | 5661 |
| 17 | 5670 | 107 | 5677 | 197 | 5743 | 287 | 5704 |
| 19 | 5710 | 109 | 5726 | 199 | 5693 | 289 | 5684 |
| 21 | 5739 | 111 | 5703 | 201 | 5666 | 291 | 5703 |
| 23 | 5649 | 113 | 5652 | 203 | 5717 | 293 | 5660 |
| 25 | 5708 | 115 | 5690 | 205 | 5694 | 295 | 5692 |
| 27 | 5692 | 117 | 5719 | 207 | 5716 | 297 | 5749 |
| 29 | 5668 | 119 | 5667 | 209 | 5654 | 299 | 5692 |
| 31 | 5701 | 121 | 5738 | 211 | 5717 | 301 | 5717 |
| 33 | 5739 | 123 | 5703 | 213 | 5688 | 303 | 5656 |
| 35 | 5648 | 125 | 5666 | 215 | 5669 | 305 | 5751 |
| 37 | 5702 | 127 | 5738 | 217 | 5703 | 307 | 5657 |
| 39 | 5740 | 129 | 5686 | 219 | 5651 | 309 | 5688 |
| 41 | 5654 | 131 | 5669 | 221 | 5745 | 311 | 5724 |
| 43 | 5677 | 133 | 5677 | 223 | 5686 | 313 | 5747 |
| 45 | 5649 | 135 | 5723 | 225 | 5691 | 315 | 5717 |
| 47 | 5731 | 137 | 5694 | 227 | 5655 | 317 | 5752 |
| 49 | 5671 | 139 | 5666 | 229 | 5720 | 319 | 5660 |
| 51 | 5728 | 141 | 5721 | 231 | 5741 | 321 | 5757 |
| 53 | 5680 | 143 | 5667 | 233 | 5647 | 323 | 5659 |
| 55 | 5735 | 145 | 5699 | 235 | 5694 | 325 | 5754 |
| 57 | 5745 | 147 | 5666 | 237 | 5659 | 327 | 5658 |
| 59 | 5658 | 149 | 5701 | 239 | 5718 | 329 | 5701 |
| 61 | 5703 | 151 | 5672 | 241 | 5691 | 331 | 5658 |
| 63 | 5657 | 153 | 5691 | 243 | 5693 | 333 | 5716 |
| 65 | 5728 | 155 | 5724 | 245 | 5659 | 335 | 5692 |
| 67 | 5672 | 157 | 5669 | 247 | 5722 | 337 | 5747 |
| 69 | 5702 | 159 | 5699 | 249 | 5693 | 339 | 5689 |
| 71 | 5673 | 161 | 5669 | 251 | 5682 | 341 | 5724 |
| 73 | 5734 | 163 | 5666 | 253 | 5689 | 343 | 5662 |
| 75 | 5659 | 165 | 5720 | 255 | 5664 | 345 | 5705 |
| 77 | 5728 | 167 | 5694 | 257 | 5723 | 347 | 5660 |
| 79 | 5681 | 169 | 5728 | 259 | 5659 | 349 | 5722 |
| 81 | 5718 | 171 | 5696 | 261 | 5693 | 351 | 5742 |
| 83 | 5676 | 173 | 5672 | 263 | 5660 | 353 | 5684 |
| 85 | 5733 | 175 | 5721 | 265 | 5711 | 355 | 5704 |
| 87 | 5650 | 177 | 5681 | 267 | 5663 | 357 | 5661 |
| 89 | 5734 | 179 | 5672 | 269 | 5686 | 359 | 5686 |

Таблица А.8 – Результаты измерений во 2-ом полугодии 2015 года (четная нумерация опор)

| № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм | № опоры | Расстояние от УГР до нижнего консольного хомута, мм |
|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|
| 2 | 5706 | 92 | 5701 | 182 | 5704 | 272 | 5696 |
| 4 | 5669 | 94 | 5728 | 184 | 5678 | 274 | 5697 |
| 6 | 5714 | 96 | 5704 | 186 | 5709 | 276 | 5701 |
| 8 | 5678 | 98 | 5663 | 188 | 5684 | 278 | 5671 |
| 10 | 5698 | 100 | 5732 | 190 | 5667 | 280 | 5704 |
| 12 | 5706 | 102 | 5700 | 192 | 5681 | 282 | 5670 |
| 14 | 5668 | 104 | 5668 | 194 | 5661 | 284 | 5683 |
| 16 | 5721 | 106 | 5688 | 196 | 5707 | 286 | 5706 |
| 18 | 5664 | 108 | 5712 | 198 | 5680 | 288 | 5685 |
| 20 | 5708 | 110 | 5688 | 200 | 5713 | 290 | 5674 |
| 22 | 5716 | 112 | 5711 | 202 | 5685 | 292 | 5726 |
| 24 | 5660 | 114 | 5686 | 204 | 5684 | 294 | 5657 |
| 26 | 5679 | 116 | 5706 | 206 | 5681 | 296 | 5677 |
| 28 | 5696 | 118 | 5669 | 208 | 5710 | 298 | 5663 |
| 30 | 5718 | 120 | 5702 | 210 | 5679 | 300 | 5680 |
| 32 | 5701 | 122 | 5697 | 212 | 5664 | 302 | 5702 |
| 34 | 5705 | 124 | 5687 | 214 | 5695 | 304 | 5676 |
| 36 | 5664 | 126 | 5695 | 216 | 5656 | 306 | 5670 |
| 38 | 5696 | 128 | 5656 | 218 | 5700 | 308 | 5698 |
| 40 | 5749 | 130 | 5704 | 220 | 5699 | 310 | 5671 |
| 42 | 5675 | 132 | 5692 | 222 | 5678 | 312 | 5685 |
| 44 | 5717 | 134 | 5705 | 224 | 5689 | 314 | 5662 |
| 46 | 5753 | 136 | 5668 | 226 | 5668 | 316 | 5681 |
| 48 | 5670 | 138 | 5689 | 228 | 5700 | 318 | 5672 |
| 50 | 5708 | 140 | 5665 | 230 | 5683 | 320 | 5699 |
| 52 | 5663 | 142 | 5694 | 232 | 5698 | 322 | 5675 |
| 54 | 5687 | 144 | 5701 | 234 | 5704 | 324 | 5682 |
| 56 | 5709 | 146 | 5691 | 236 | 5681 | 326 | 5660 |
| 58 | 5682 | 148 | 5697 | 238 | 5670 | 328 | 5675 |
| 60 | 5706 | 150 | 5660 | 240 | 5710 | 330 | 5672 |
| 62 | 5667 | 152 | 5667 | 242 | 5659 | 332 | 5702 |
| 64 | 5686 | 154 | 5707 | 244 | 5697 | 334 | 5660 |
| 66 | 5666 | 156 | 5669 | 246 | 5686 | 336 | 5666 |
| 68 | 5690 | 158 | 5692 | 248 | 5659 | 338 | 5682 |
| 70 | 5662 | 160 | 5668 | 250 | 5704 | 340 | 5668 |
| 72 | 5716 | 162 | 5713 | 252 | 5692 | 342 | 5681 |
| 74 | 5676 | 164 | 5673 | 254 | 5698 | 344 | 5660 |
| 76 | 5718 | 166 | 5704 | 256 | 5674 | 346 | 5673 |
| 78 | 5681 | 168 | 5723 | 258 | 5715 | 348 | 5677 |
| 80 | 5702 | 170 | 5699 | 260 | 5683 | 350 | 5674 |
| 82 | 5669 | 172 | 5667 | 262 | 5701 | 352 | 5669 |
| 84 | 5692 | 174 | 5692 | 264 | 5670 | 354 | 5676 |
| 86 | 5719 | 176 | 5669 | 266 | 5669 | 356 | 5681 |
| 88 | 5683 | 178 | 5703 | 268 | 5695 | 358 | 5671 |
| 90 | 5690 | 180 | 5675 | 270 | 5681 | 360 | 5674 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Технологическая карта «Армировка установленной консольной опоры»

Технологическая карта № 1.8.**АРМИРОВКА УСТАНОВЛЕННОЙ КОНСОЛЬНОЙ ОПОРЫ****1. Состав исполнителей**

| | |
|-------------------------|---|
| Электромонтер 5 разряда | 1 |
| Электромонтер 4 разряда | 2 |
| Электромонтер 3 разряда | 2 |

2. Условия выполнения работ

Работа выполняется:

2.1. Со снятием напряжения, с применением рабочей площадки автотрисы (дрезины) и приставной лестницы 9 м (для центрифугированных железобетонных опор); с подъемом на высоту.

2.2. С перерывом в движении поездов, в "окно" продолжительностью 1,5–2,0 ч.

2.3. По наряду и приказу энергодиспетчера. При работе на станционных путях – по согласованию с дежурным по станции.

3. Механизмы, приборы, монтажные приспособления, инструмент, защитные средства и сигнальные принадлежности

| | |
|---------------------------------------------|---|
| Автотриса (дрезина), шт. | 1 |
| Лестница приставная 9 м, шт. | 1 |
| Полиспаг на 5 кН (500 кгс), шт. | 1 |
| "Удочка" веревочная, шт. | 1 |
| Струбцина монтажная, шт. | 2 |
| Набор инструмента электромонтера, компл. | 1 |
| Оптический дальномер с точностью ± 1 мм | 1 |
| Мегомметр М1101 на 500 В, шт. | 1 |
| Маркер по металлу, шт. | 1 |
| Ножовка по металлу, шт. | 1 |
| Полотно наждачное, лист | 1 |

| | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| Штанга переносная заземляющая, шт. | по числу, указанному в наряде |
| Перчатки диэлектрические, пар | 1 |
| Пояс предохранительный, шт. | 4 |
| Каска защитная, шт. | 5 |
| Жилет сигнальный, шт. | 5 |
| Аптечка, компл. | 1 |

4. Норма времени на одну конструкцию, чел.-час

| | |
|--------------------------------------------|------|
| Опора металлическая | 3,81 |
| Опора железобетонная без закладных деталей | 5,10 |
| Опора железобетонная с закладными деталями | 4,37 |

5. Подготовительные работы и допуск к работе

5.1. Накануне работ передать заявку энергодиспетчеру на выполнение работ со снятием напряжения в зоне работ с применением рабочей площадки автотрисы (дрезины) и предоставлением "окна" в движении поездов, с указанием времени, места и характера работ.

5.2. Получить наряд на производство работ и инструктаж от лица, выдавшего наряд.

5.3. В соответствии с документацией подобрать консоль и детали (узлы) для крепления ее на опоре, а также прутки и другие элементы для монтажа заземления опоры. Проверить их техническое состояние, комплектность. Технические требования и нормы приведены в разделе 5 технологических карт № 2.1 – для консолей и № 7.2 – для заземлений.

5.4. Подобрать изоляционные полимерные детали для изоляции конструкций, устанавливаемых на железобетонных опорах (на участках постоянного тока).

5.5. Подобрать монтажные приспособления, защитные средства, сигнальные принадлежности и инструмент, проверить их исправность и сроки испытаний. Погрузить их, а также подобранные конструкции, детали и материалы на автотрису и организовать переезд автотрисы с бригадой к месту работ. При погрузке и транспортировании обеспечить сохранность изоляторов.

5.6. Получить приказ энергодиспетчера о снятии напряжения в зоне работ, закрытии пути для движения поездов, с указанием времени начала и окончания работ. При работе на станционных путях согласовать ее выполнение с дежурным по станции, оформив запись в «Журнале осмотра путей, стрелочных переводов, устройств СЦБ, связи и контактной сети».

После закрытия перегона или станции получить разрешение дежурного по станции на его занятие. На перегон автомотриса отправляется на правах хозяйственного поезда порядком, установленным Инструкцией по движению поездов.

5.7. По прибытии на место работ провести текущий инструктаж по технике безопасности всем членам бригады, с росписью каждого в наряде. Четко распределить обязанности между исполнителями.

5.8. Заземлить провода и оборудование, с которых снято напряжение, переносными заземляющими штангами с обеих сторон места работы в соответствии с нарядом.

5.9. Подняться на рабочую площадку автомотрисы, поднять и закрепить перила ограждения, привести площадку в рабочее положение.

5.10. Осуществить допуск бригады к производству работ.

6. Схема последовательного технологического процесса

| № п/п | Наименование операций | Содержание операций, технологические требования и нормы |
|-------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 6.1. | Установка на опоре узлов для крепления консоли и фиксатора | <p>6.1.1. Спроецировать оптическим дальномером уровень головки рельса в точку Т1 на опоре (рисунок 1.8.1). Зафиксировать данную точку маркером. Установить рядом с опорой горизонтальную пластину на уровне точки Т1 (уровень головки рельса), которая будет служить отражателем для лазерного луча оптического дальномера и началом отсчета для проведения дальнейших измерений.</p> <p>6.1.2. Подняться исполнителю с "удочкой" непосредственно по металлической опоре или по приставной лестнице, установленной и закрепленной на железобетонной центрифугированной опоре, к месту крепления тяги консоли.</p> <p>6.1.3. Автомотрису остановить у опоры, исполнителю подняться на рабочую площадку, привести ее в рабочее положение и развернуть поперек пути в сторону опоры к месту крепления пяты консоли.</p> <p>6.1.4. При наличии закладных деталей на железобетонных опорах их необходимо снять.</p> <p>6.1.5. Определить места крепления на опоре пяты и тяги консоли. Места крепления зависят от типа консоли, габарита и места установки опоры (на прямой, внешней или внутренней стороне кривого участка пути), а также принятой высоты беспровесного положения контактного провода над уровнем головки рельса и определяются по типовым проектам.</p> <p>Исполнителю направить лазерный луч оптического дальномера в отражатель и измерить проектное расстояние от уровня головки рельса до мест установки узлов для крепления консоли.</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>Зафиксировать маркером полученные точки на опоре.</p> <p>6.1.6. На металлических, железобетонных двутавровых и железобетонных конических опорах поднять "удочкой" съемные узлы (хомуты или уголки) для крепления консоли и закрепить их на опоре в отмеченных маркером точках. На участках постоянного тока железобетонных опор между съемными узлами и поверхностью бетона установить изоляционные полимерные прокладки.</p> <p>6.1.7. Для крепления пят и тяг двух консолей на переходных опорах установить и закрепить на них специальные траверсы (для конических опор деталь К-112), через изоляционные прокладки (на участках постоянного тока).</p> <p>6.1.8. Определить место крепления фиксаторного кронштейна на опоре или кронштейне консоли. Место крепления зависит от принятой высоты контактного провода над уровнем головки рельса при беспровесном положении, типа фиксатора и скорости движения поездов и определяются по типовым проектам.</p> <p>6.1.9. Поднять на рабочую площадку фиксаторный кронштейн и закрепить его на опоре болтами (для железобетонных конических опор деталь К-144). На участках постоянного тока между хомутами кронштейна и поверхностью бетона установить изоляционные полимерные прокладки.</p> <p>При креплении фиксаторов не на опоре, а на консоли фиксаторные кронштейны или фиксаторные стойки устанавливаются вместе с консолью или крепятся на ней после установки консоли.</p> <p>6.1.10. На участках постоянного тока замерить мегомметром М1101 на 500 В величину сопротивления между арматурным каркасом железобетонной опоры и установленными на ней металлическими узлами (конструкциями). Оно должно во всех случаях быть не менее 5000 Ом.</p> |
| 6.2. | Установка консоли | <p>6.2.1. Распустить полиспаст и закрепить его первый блок через струбцину, установленную на опоре, выше узла крепления тяги, а второй блок – за подготовленную к установке консоль, примерно у середины кронштейна консоли. Канаты полиспаста пропустить сквозь проволоку, изогнув ее в виде кольца и привязав у пяты кронштейна консоли. Это обеспечит свободное перемещение ветвей полиспаста и вертикальный подъем консоли пятой вверх, не позволив ей опрокинуться.</p> <p>6.2.2. Пропустить веревку ("удочку") через отверстие в седле. Длина веревки должна быть равна двойному расстоянию от земли до места крепления тяги консоли на опоре, что позволит по окончании установки консоли снять ее, не поднимаясь на консоль (отпустив один конец веревки и вытягивая его через кольцо седла за другой конец).</p> <p>6.2.3. Натягивая ведущую ветвь полиспаста вертикально вниз или вдоль пути, поднять консоль и закрепить ее болтом в шарнирной петле пяты, развернутой вдоль пути.</p> <p>Во время подъема консоль удерживать "удочкой" от раскачивания в положении вдоль пути. При установке швеллерных консолей особое внимание обратить на закрепление кронштейна консоли к поворотной петле пяты, натягивая гайки болта до отказа, чтобы оба швеллера кронштейна прилегали вплотную к поворотной петле закладной детали, что исключит перекосы кронштейна.</p> <p>6.2.4. Отвязать проволочное кольцо от кронштейна консоли. Не меняя места крепления к кронштейну полиспаста, натянуть его вновь и, отводя конец консоли "удочкой", вывести консоль из вертикального положения в наклонное. Подъем консоли продолжать</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | <p>до тех пор, пока электромонтер, находящийся на лестнице у опоры, не сможет взять тягу в руки, отвязать ее от кронштейна.</p> <p>6.2.5. Присоединить тягу и подкос (при наличии) к узлу крепления тяги. Присоединить, отрегулировав длину подкоса к кронштейну консоли на расстоянии не более 300 мм от точки крепления на нем фиксатора.</p> <p>6.2.6. Проверить положение консоли. У изогнутых консолей "хобот", а у горизонтальных - кронштейн должны располагаться горизонтально. Допускается отклонение конца таких консолей от горизонтального положения не более ± 100 мм при длине консоли до 5 м и не свыше ± 200 мм - при большей длине.</p> <p>Точка крепления несущего троса на консоли должна иметь отклонение от проектного: в плане от оси пути ± 200 мм, а по высоте от уровня головки рельсов от +400 до -300 мм за счет допусков конструктивной высоты контактной подвески (1800 мм). Отклонение консоли не будет превышать допустимое, так как она изначально была выставлена в проектное положение. Регулировать положение консоли по высоте не требуется.</p> <p>6.2.7. Закрепить проволокой к опоре консоль, развернутую вдоль пути, снять веревку ("удочку), закрепленную за кольцо седла на консоли, пропустив ее через кольцо. Снять полиспасть и струбицы.</p> <p>6.2.8. При установке изолированных консолей запрещается во время монтажных работ находиться электромонтеру на консоли или закреплять за нее цепь предохранительного пояса.</p> |
| 6.3. | Монтаж заземления опоры | <p>6.3.1. С приставной лестницы на железобетонной конической опоре или непосредственно с двутавровой железобетонной опоры поднять "удочкой" выправленный заземляющий спуск, присоединить его, натягивая вручную, к отрезкам для заземлений плашечными зажимами (деталь К-066), очистив контактные поверхности от краски и зачистив их до блеска наждачным полотном.</p> <p>6.3.2. Установить в двух-трех местах на железобетонной опоре деревянные или полимерные прокладки и закрепить к ним заземляющий спуск, так, чтобы он не касался опоры.</p> <p>6.3.3. Установить на высоте 0,5-1,0 м от земли кронштейн для крепления вертикального спуска или искрового промежутка и присоединить их к спуску, зачистив места соединения наждачным полотном.</p> <p>6.3.4. Уложить прутки по земле или по полушпалкам, закрепив на них прутки скобами. Присоединить прутки с помощью зажима заземления (деталь К-124) к подошве тягового рельса.</p> <p>6.3.5. Присоединить второй конец прутка непосредственно к металлической опоре или к вертикальному спуску заземления железобетонной опоры непосредственно или через искровой промежуток.</p> <p>6.3.6. При присоединении опоры к тросу группового заземления: - установить на опоре кронштейн, армированный изолятором и седлом, уложить в седло провод группового заземления, закрепив его плашкой. При алюминиевом (сталеалюминиевом) тросе группового заземления, в седла укладывать алюминиевый коуш (деталь К-067); - присоединить плашечным зажимом (деталь К-066) к проводу группового заземления вертикальный спуск (идущий сверху опоры до троса), лишний конец отрезать ножовкой по металлу. Места соединения предварительно зачистить наждачным полотном.</p> |

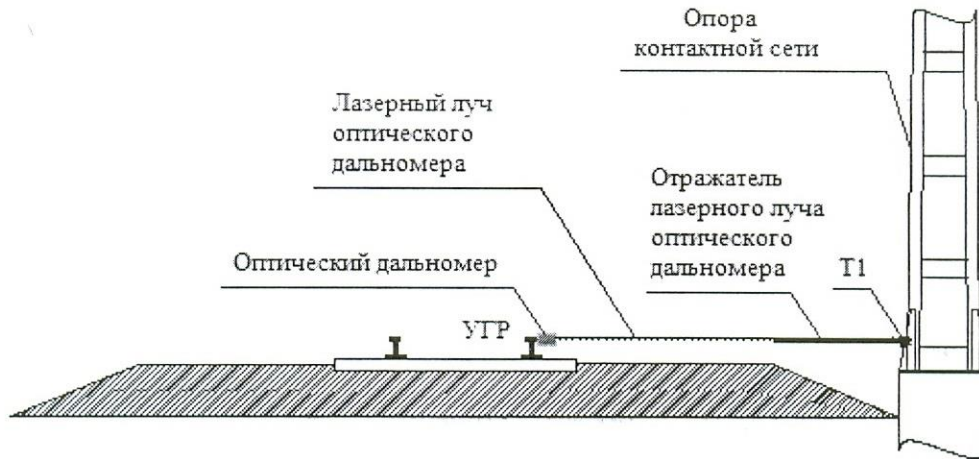
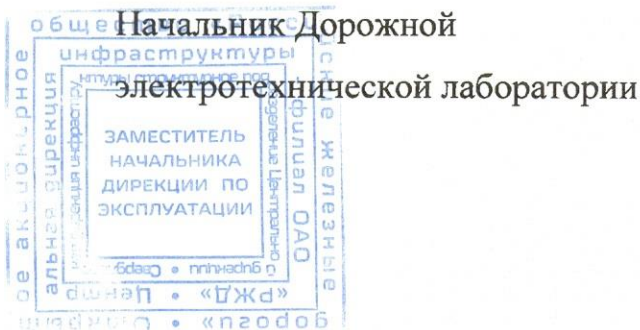


Рисунок 1.8.1. Проецирование уровня головки рельса на опору

7. Окончание работ

- 7.1. Снять с рабочей площадки автомотрисы использованные материалы, детали, приспособления, привести ее в транспортное положение. Исполнителям сойти вниз.
- 7.2. Отсоединить от опоры и опустить вниз приставную лестницу 9 м.
- 7.3. Снять заземляющие штанги.
- 7.4. Собрать материалы, монтажные приспособления, инструмент, защитные средства и погрузить их на автомотрису (дрезину).
- 7.5. Дать уведомление энергодиспетчеру об окончании работ. При работе на станции оформить запись в "Журнале осмотра путей, стрелочных переводов устройств СЦБ, связи и контактной сети".
- 7.6. Возвратить автомотрису с перегона на станцию примыкания на правах хозяйственного поезда порядком, установленным Инструкцией по движению поездов.
- 7.7. Возвратиться на производственную базу ЭЧК.



И.А. Пятецкий

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Патент на изобретение

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2493029

СПОСОБ МОНТАЖА КОНСОЛИ НА ОПОРЕ
КОНТАКТНОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный университет путей сообщения" (УрГУПС) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012109082

Приоритет изобретения **11 марта 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **20 сентября 2013 г.**

Срок действия патента истекает **11 марта 2032 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 493 029** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
B60M 1/20 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

RU 2 4 9 3 0 2 9 C 1

(21)(22) Заявка: 2012109082/11, 11.03.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.03.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.03.2012

(45) Опубликовано: 20.09.2013 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2164875 C2, 10.04.2001. RU 27541 U1,
10.02.2003. RU2240936 C1, 27.11.2004.
EP 0897826 A2, 24.02.1999.

Адрес для переписки:

620034, г.Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
УрГУПС, ОДиА, Л.Б. Никулиной

(72) Автор(ы):

Ковалев Алексей Анатольевич (RU),
Микава Александр Ваноевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Уральский государственный университет
путей сообщения" (УрГУПС) (RU)

RU 2 4 9 3 0 2 9 C 1

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)

АКТЫ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ
ИНФРАСТРУКТУРЫ
СВЕРДЛОВСКАЯ ДИРЕКЦИЯ
ИНФРАСТРУКТУРЫ

ул. Вокзальная, 21
г. Екатеринбург, 620107
Тел.: (343) 358-44-15, факс: (343) 358-39-45,
E-mail: Nzp_s@svrw.rzd
« 9 » 09 2015 г. № 183/2

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель начальника
Свердловской дирекции
инфраструктуры

« 22 » апреля 2015 г.



Акт

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

1. Разработчики: Ковалев Алексей Анатольевич, Микава Александр Ваноевич.
2. Предмет внедрения: технология монтажа консолей на опоры контактной сети.
3. Место внедрения: Свердловская железная дорога, филиал ОАО «Российские железные дороги», Свердловская дирекция инфраструктуры Свердловская дистанция электроснабжения.
4. Техничко-экономический эффект: предложенная технология повышает точность установки консоли по высоте опоры в требуемое положение. В связи с этим номинальная высота контактного провода от уровня головки рельса не превышает допустимое отклонение, что в свою очередь обеспечивает качественный токосъем. Экономия на оплате труда работников дистанций электроснабжения за счет сокращения времени производства работ.
5. Дата внедрения: 22.04.2015 г.
6. Предложение о дальнейшем использовании: предлагается применять указанную технологию при монтаже консолей на опоры контактной сети.

Начальника Дорожной
электротехнической лаборатории

И.А. Пятецкий



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ТРАНСЭНЕРГО
СВЕРДЛОВСКАЯ ДИРЕКЦИЯ
ПО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЮ

Челюскинцев ул. 116
г. Екатеринбург, 620013,
Тел: (343) 358-58-75 факс: (343) 358-57-27
E-mail: Nees@svrw.ru

УТВЕРЖДАЮ
Начальник Свердловской
дирекции по энергообеспечению



О.В. Халуев

2017 г.

« » 2017 г. №ИСХ- /СВЕРДНТЭ

На № от _____

Акт

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

1. Разработчики: Ковалев Алексей Анатольевич, Микава Александр Ваноевич.
2. Предмет внедрения: технология монтажа консолей на опоры контактной сети.
3. Место внедрения: Свердловская железная дорога, филиал ОАО «Российские железные дороги», Свердловская дирекция инфраструктуры Свердловская дистанция электроснабжения.
4. Техничко-экономический эффект: предложенная технология повышает точность установки консоли по высоте опоры в требуемое положение. В связи с этим номинальная высота контактного провода от уровня головки рельса не превышает допусаемое отклонение, что в свою очередь обеспечивает качественный токосъем. Экономия на оплате труда работников дистанций электроснабжения за счет сокращения времени производства работ.
5. Дата внедрения: 31.05.2017 г.
6. Предложение о дальнейшем использовании: предлагается применять указанную технологию при монтаже консолей на опоры контактной сети.

Начальника Дорожной

электротехнической лаборатории

И.А. Пятецкий

Свердловская дирекция по энергообеспечению -
структурное подразделение Трансэнерго -
филиала ОАО «Российские железные дороги»
620107, г. Екатеринбург, ул. Челюскинцев, д. 116

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(обязательное)

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2013613993

Расчет стоимости жизненного цикла
сложных технических систем

Правообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) (RU)*

Автор(ы): *Галкин Александр Геннадьевич (RU), Ковалев Алексей Анатольевич (RU), Микава Александр Ваноевич (RU), Окунев Александр Владимирович (RU)*

Заявка № 2013611405

Дата поступления 01 марта 2013 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
22 апреля 2013 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



Приложение Е
(обязательное)

АКТ
о внедрении программы для ЭВМ



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ»
(ООО «НДТ»)

ИНН 6678076449
Российская Федерация, Свердловская область
623700, г. Березовский, ул. Кольцевая, д. 3, офис 8
тел (343) 206-67-91, e-mail: ooondt@mail.ru
www.bestavteh.com

Акт

о внедрении программы для ЭВМ «Расчет стоимости жизненного цикла сложных технических систем»

1. Разработчики: Галкин Александр Геннадьевич, Ковалев Алексей Анатольевич, Микава Александр Ваноевич, Окунев Александр Владимирович.
2. Предмет внедрения: программный продукт для ЭВМ.
3. Место внедрения ООО «НДТ».
4. Техничко-экономический эффект: при помощи предложенной программы для ЭВМ рассчитываются показатели экономической эффективности (стоимость жизненного цикла, полезный экономический эффект, лимитная цена) отдельных элементов сложных технических систем. Применение данной программы дает возможность заранее определить экономический эффект от использования нового образца техники по сравнению с ее аналогом, который морально и технически устарел. Автоматизация процесса сокращает время на расчет стоимости жизненного цикла системы с учетом изменяющегося во времени коэффициента дисконтирования.
5. Дата внедрения: 05.12.2016 г.
6. Предложение о дальнейшем использовании: предлагается применять указанный программный продукт при расчете стоимости жизненного цикла вновь разрабатываемых устройств.

Директор



Н.В. Крапивин