

На правах рукописи



Микава Александр Ваноевич

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

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС).

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
Ковалев Алексей Анатольевич

Официальные оппоненты:

Ли Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», кафедра «Системы электроснабжения», профессор (ФГБОУ ВО ДВГУПС);

Смердин Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения», кафедра «Электроснабжение железнодорожного транспорта», доцент (ФГБОУ ВО ОмГУПС).

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)».

Защита состоится «8» декабря 2017 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ауд. Б2-15 – зал диссертационных советов.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» Адрес сайта, на котором размещена диссертация и автореферат: <http://www.usurt.ru>

Автореферат разослан «___» октября 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимухина Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 поездов — 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 возникает 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 лимитную цену и стоимость жизненного цикла любого устройства контактной сети, как по отдельности, так и в целом, рассматривая все элементы в качестве единой сложной технической системы.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследования являлись теории 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 выхо-

дят 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 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 изданий, 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются: объект, область, цель и задачи исследования, описываются методические

и теоретические основы, а также научная новизна и практическая значимость исследования, излагаются основные положения, выносимые на защиту, приводятся сведения по апробации и степени достоверности результатов исследования.

В первой главе выявлено, что требуемые статические параметры контактных подвесок на основных этапах ее жизненного цикла (проектирование, монтаж и эксплуатация) обеспечиваются за счет точной установки поддерживающих конструкций (консолей) по утвержденным типовым проектам. Анализируя применяемые на сегодняшний день технологии установки консолей в России и за рубежом, был сделан вывод о том, 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. На основании проведенного анализа предложена классификация консолей по скоростному режиму (таблица 1).

Таблица 1 – 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	

На стадии проектирования (первый этап жизненного цикла), благодаря применению данной классификации появляется возможность выбора разнообразно-

стей консолей для обеспечения требуемых статических параметров контактных подвесок, предназначенных для эксплуатации при конкретных скоростных режимах.

Во второй главе рассмотрен основной этап жизненного цикла контактной подвески – ее непосредственная эксплуатация. Анализ надежности устройств контактной сети, проведенный в первой главе, позволяет утверждать, что стабильное пространственное положение консолей обеспечивает поддержку статических параметров контактной подвески в рамках допустимых норм в течение всего периода ее эксплуатации. В связи с этим была предложена математическая модель определения межрегулировочного 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.

Так как отдельно взятый участок контактной сети имеет одинаковую техническую проектную документацию на все устанавливаемые консоли, которые изготавливаются по идентичной технологии и эксплуатируются при равных условиях, то длительность межрегулировочного интервала консоли зависит от качества проведения монтажных работ, а именно установки консолей точно в проектное положение. Приращение продолжительности межрегулировочного интервала консоли контактной сети будет пропорционально полной продолжительности межрегулировочного интервала консоли, приращению коэффициента, характеризующего точность установки консоли в проектное положение, и коэффициенту, указывающего на то, что консоль смонтирована с некоторой погрешностью. Исходя из вышесказанного, составим уравнение

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

где Δt – приращение продолжительности межрегулировочного интервала консоли, год; t – продолжительность жизненного цикла консоли, год; K – коэффициент ($K = l/L$), характеризующий точность установки консоли в проектное положение; $(1 - K)$ – коэффициент, указывающий на то, что консоль установ-

лена с недостаточной точностью, при $0 < K \leq 1$; ΔK – приращение коэффициента, характеризующего точность установки консоли в проектное положение.

Из (1) получим уравнение для определения длительности межрегулируемого интервала консоли контактной сети в зависимости от соблюдения допустимых норм при ее установке на опору

$$dt = t \cdot (1 - K) \cdot d. \quad (2)$$

При делении левой и правой части уравнения на t решение данного уравнения будет иметь следующий вид:

$$\ln t = K - 0,5 K^2 + C. \quad (3)$$

Для того чтобы определить продолжительность межрегулируемого интервала консоли из уравнения (3), потребуется найти постоянную C по формуле

$$C = \ln t - K + 0,5 K^2. \quad (4)$$

Затем необходимо в формулу (4) подставить известные значения t и K . Примем следующие условия: $K = K_d$ при $t = t_d$, 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 (4) примет следующий вид

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

Подставив выражение для определения постоянной C из формулы (4) в (5), получим следующее выражение

$$\ln t_d - K_d + 0,5 K_d^2 = \ln t - K + 0,5 K^2. \quad (6)$$

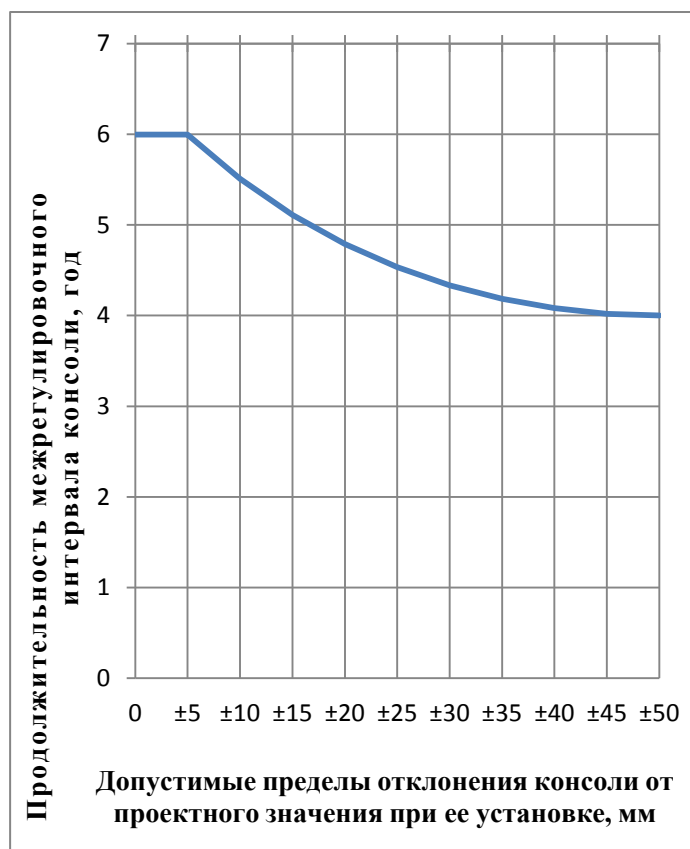
Преобразуем выражение (6) для расчета t

$$\ln t = K - 0,5 K^2 + \ln t_d - K_d + 0,5 K_d^2. \quad (7)$$

Извлекая t из-под натурального логарифма, получим конечное уравнение

$$t = t_d \cdot \exp(K - K_d + 0,5 K_d^2 - 0,5 K^2). \quad (8)$$

Определим прогнозное значение продолжительности межрегулировочного интервала консоли контактной сети, смонтированной для скоростей движения более 161 км/ч, которая должна быть точно установлена в проектное положение при заданных пределах (рисунок 1).



При этом 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 правил устройства и технической эксплуатации контактной сети 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. Тогда по формуле (8) прогнозное значение межрегулировочного интервала консоли, установленной по технологиям, обеспечивающим должную точность, составляет 6 лет.

Рисунок 1 – Зависимость периода межрегулировочного интервала консоли от допустимых норм по ее установке

Расчет показывает, что продолжительность межрегулировочного 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.

Для того чтобы определить, через какой промежуток времени статические параметры контактной подвески все же выйдут за допустимые нормы в период ее эксплуатации, была разработана математическая модель. Рассмотрим прямую консоль (рисунок 2) и запишем формулу для определения высоты контактного провода от уровня головки рельса (УГР)

$$H_{КПi} = H_{НТi} - H_{КВi}, \quad (9)$$

где $H_{НТi}$ – высота несущего троса от УГР на i -ой опоре, мм; $H_{КВi}$ – конструктивная высота контактной подвески на i -ой опоре, мм.

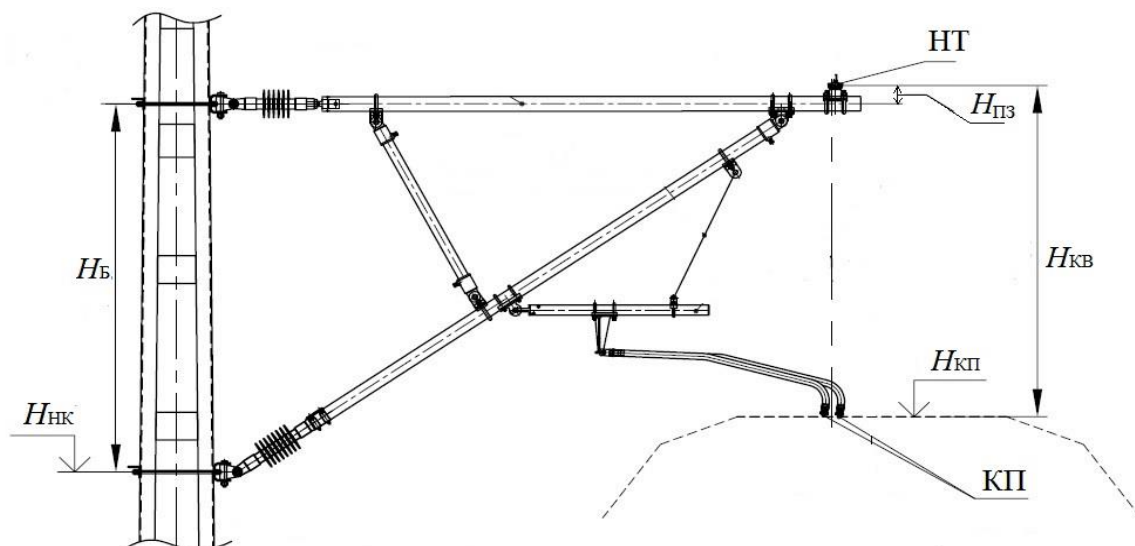


Рисунок 2 – Консоль контактной сети с геометрическими параметрами

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

$$H_{НТi} = H_{НКi} + H_{Бi} + H_{ПЗi}, \quad (10)$$

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

Подставив (10) в (9), получим формулу (11) для расчета высоты подвеса контактного провода с учетом установочных и геометрических параметров поддерживающих конструкций

$$H_{КПi} = H_{НКi} + H_{Бi} + H_{ПЗi} - H_{КВи}. \quad (11)$$

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

$$\Delta H_{КПi(i+2)} = H_{КПi} - H_{КПi+2}, \quad (12)$$

где $H_{КПi}$ – высота контактного провода от УГР на i -ой опоре, мм.

В качестве исходных данных имеются результаты измерений расстояний от уровня головки рельса до узла крепления консоли на опору контактной сети. Применим в расчетах значения измерений, выполненных с периодичностью один

раз в полугодие за 2014 и 2015 годы. Необходимо взять выборку измерений, которая будет являться количеством наблюдений, с однотипного участка пути, например, на 360 опорах.

Допустимое отклонение высокоскоростной подвески при установке консоли с помощью хомутов не должно превышать ± 5 мм, тогда принимаем длину интервалов, равной 10 мм ($\Delta X = 10$ мм). При этом минимальное расстояние от УГР до нижнего узла крепления консоли составляет 5650 мм, а максимальное — 5750 мм. Исходя из этого количество интервалов равно одиннадцати. Известны результаты измерений расстояния от УГР до нижнего консольного хомута в 1-ом полугодии 2014 года (предыдущее состояние) и во 2-ом полугодии (последующее состояние). Составим матрицу переходных вероятностей (таблица 2).

Таблица 2 – Значения матрицы переходных вероятностей вертикального положения консоли относительно уровня головки рельса в виде обыкновенной дроби (из первого полугодия 2014 г. во второе полугодие 2014 г.)

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

Переходной вероятностью называют условную вероятность того, что из предшествующего состояния (b) система перейдет в последующее состояние (c). Вероятность перехода из состояния b в состояние c определяется по формуле:

$$p_{bc}(\tau) = \frac{n_{bc}(\tau)}{n_b(\tau - 1)}, \quad (13)$$

где $n_{bc}(\tau)$ – число консолей, наблюдаемых в состоянии b в момент $\tau - 1$ и в состоянии c в момент τ , $n_b(\tau - 1)$ число консолей, наблюдаемых в состоянии b в момент $\tau - 1$. В числителе записывается $n_{bc}(\tau)$, а в знаменателе $n_b(\tau - 1)$.

Матрица переходных вероятностей, которая была изначально, характеризует вероятность перехода процесса из текущего состояния в последующее. Сумма вероятностей переходов из одного состояния в другое будет равняться единице. Процесс окажется в состоянии (c) в момент времени n . Рассчитать P_n можно с помощью формулы

$$P_n = P_1^n, \quad (14)$$

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

Для того чтобы определить, на каком расстоянии от уровня головки рельса будет располагаться узел крепления консоли через год ($n = 3$), необходимо воспользоваться формулой (14) и возвести матрицу, приведенную в таблице 2, в третью степень. Полученная матрица полностью совпадает с матрицей, полученной в результате проведения натурных измерений через год.

Согласно таблице 2, 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

$$H_{HKi} = H_{HKi(min)} + (c - 1) \cdot \Delta X, \quad (15)$$

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 (15) в (11), получим итоговую математическую модель расчета высоты контактного провода от УГР

$$H_{KPi}(t) = H_{HKi(min)}(t) + (c - 1) \cdot \Delta X(t) + H_{Bi}(t) + H_{Pzi}(t) - H_{KBi}(t) + h_p, \quad (16)$$

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

Разработанная математическая модель, позволяет определить период времени, при котором статические параметры контактной подвески выходят за рамки допустимых норм при ее эксплуатации на скоростных и высокоскоростных участ-

ках, и требуется произвести вертикальную регулировку всей контактной подвески. Расхождения практических результатов с расчетными не превысили 3 %.

В третьей главе рассмотрен один из ключевых этапов жизненного цикла контактной подвески, на котором закладываются все ее основные параметры – это проведение строительно-монтажных работ. Для формирования необходимых значений расстояния от УГР до контактного провода, а также разницы высот контактного провода от УГР на смежных опорах предложена методика экспериментального определения статических параметров контактной подвески с требуемой точностью. На ее основе разработана новая технология установки консоли на опоры контактной сети, которая успешно прошла апробацию в филиалах ОАО «Российские железные дороги» (получены акты о внедрении). Рассмотрим порядок проведения работ. Перед установкой консолей контактной сети проводится измерение угла наклона опоры контактной сети. Отклонение опоры не должно превышать трех процентов от собственной длины вдоль и поперек пути. Затем потребуется определить точку начала отсчета для проведения измерений расстояния от УГР до узла крепления консоли. Для этого необходимо спроецировать УГР в точку на опору. При этом можно воспользоваться оптическим дальномером, располагая его строго горизонтально, или строительным уровнем, приложенным непосредственно к опоре. Данная точка фиксируется и служит началом отсчета для проведения дальнейших измерений. При проецировании необходимо учесть 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.

Далее при помощи оптического дальномера измеряется расстояние от точки, которая является проекцией УГР на опору, до места установки верхнего крепления консоли (данное расстояние берется из утвержденного проекта). После этого верхний узел крепления консоли монтируется на опоре в полученной точке. Аналогичным способом определяется место крепления нижнего хомута консоли и производится его монтаж.

Таким образом, предварительно собранная консоль поднимается и устанавливается на опоре непосредственно в узлах крепления, которые были выставлены в соответствии с проектом (рисунок 2). Поворотный зажим для крепления несущего троса монтируется на горизонтальный стержень консоли.

С учетом конструктивной высоты контактной подвески и значения зигзагов, контактный провод монтируется с необходимой точностью.

Экспериментально получены следующие преимущества над действующими технологиями установки консолей на опоры контактной сети:

- статические параметры контактной подвески отвечают требованиям проекта для скоростного и высокоскоростного движения подвижного состава (высота контактного провода от УГР на смежных опорах не превышает 10 мм);
- установка подготовленных составных частей (консоль и хомуты) позволяет снизить временные затраты до 15 % и повышает безопасность работ на высоте;
- не требуется дополнительная регулировка положения поддерживающих конструкций по высоте опоры;

– технологию установки консоли на основе разработанной методики можно использовать как при реконструкции имеющихся участков контактной подвески, так и при строительстве отдельно выделенных высокоскоростных магистралей.

Приведенная технология установки консолей отвечает требованиям утвержденной технологической проектной документации для высокоскоростного движения и может быть использована для достижения требуемых статических параметров и равномерной эластичности у контактной подвески (для скорости движения подвижного состава свыше 160 км/ч) на этапе проведения монтажных работ, что подтверждает рисунок 3.

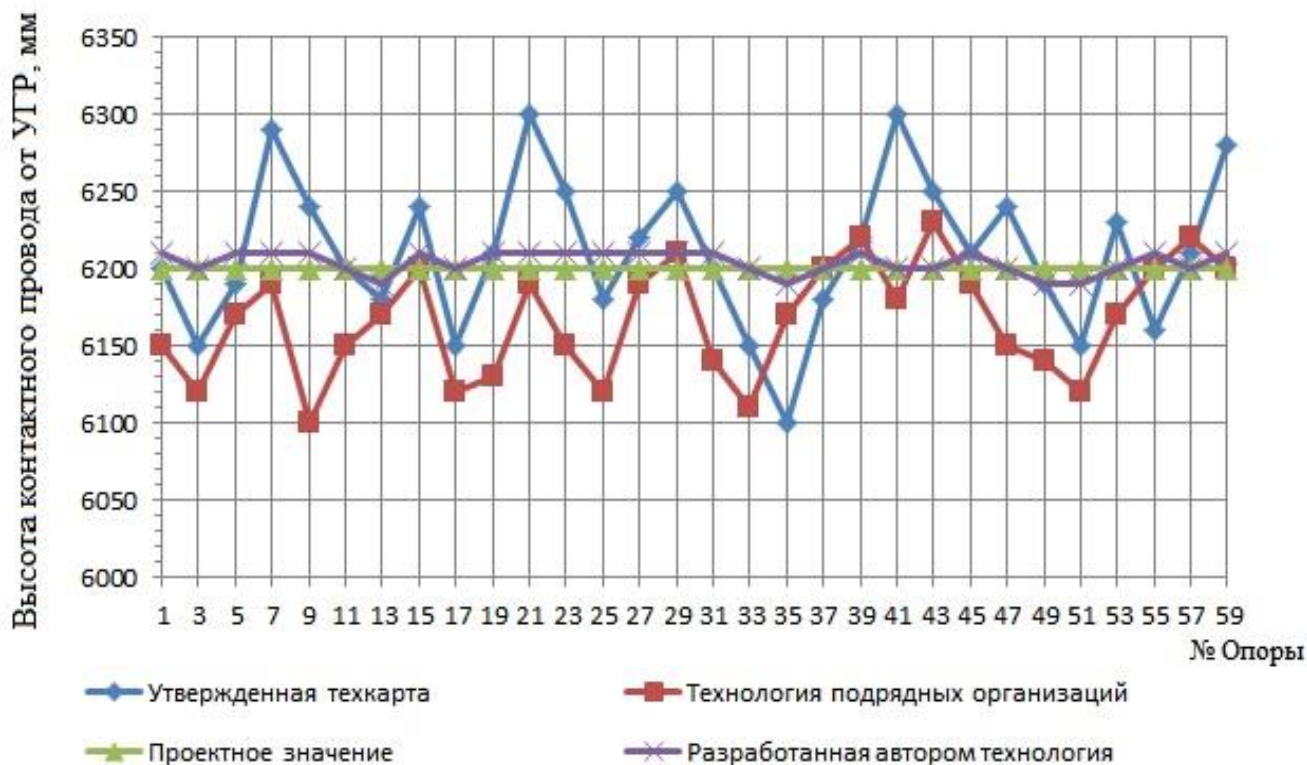


Рисунок 3 – Высота контактного провода от УГР

В четвертой главе приводится описание разработанного программного продукта, при помощи которого рассчитывается стоимость жизненного цикла, полезный экономический эффект и лимитная цена устройств контактной сети, а именно консоли.

Применение программного продукта позволяет определить экономический эффект от использования нового типа поддерживающих конструкций в сравнении с аналогичными, которые не соответствуют установленным более жестким требованиям. Особенно это необходимо при расчете средств, выделенных на строительство магистралей с применением контракта жизненного цикла.

Целью анализа стоимости жизненного цикла является выбор наиболее экономически эффективного подхода из серии альтернатив, то есть наименее затратного в долгосрочном плане варианта с учетом изменяющегося во времени коэффициента дисконтирования.

Задача оптимизации стоимости жизненного цикла состоит в нахождении такого варианта использования оборудования, который дает самую низкую стои-

мость жизненного цикла при условии достижения требуемого уровня надежности и безопасности. Применение в работе программного продукта позволяет сделать это в полной мере.

За счет предложенного внедрения трудозатраты на монтаж 1 км контактной подвески уменьшаются на 27,936 чел.-часов. Экономический эффект на 100 км участке составит 835 тысяч 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 с учетом ежегодных затрат, налогов и уровня инфляции равен 3 800 тысяч рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сформулировать основные результаты и сделать следующие выводы:

1. Предложена классификация консолей по скоростному режиму, которая обосновывает выбор разновидности консолей на этапе проектирования 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. Установлено, что для участков со скоростью движения подвижного состава до 160 км/ч статические параметры подвески выходят за установленные пределы на третий-четвертый год эксплуатации, в связи с чем требуется произвести вертикальную регулировку всей контактной подвески. Значения при натурных измерениях совпали с расчетными в рамках допустимой погрешности (3%). Применение данного математического аппарата также возможно на скоростных и высокоскоростных участках, методика расчета не меняется.

3. Разработана математическая модель, при помощи которой рассчитывается межрегулируемый интервал консолей контактной сети с учетом количественного влияния точности установки консольных хомутов в проектное положение. Выявлено, что повысив точность установки консолей в 10 раз, межрегулируемый интервал увеличивается в полтора раза (с 4 до 6 лет).

4. Разработана технология установки консоли на опору контактной сети (патент на изобретение № 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 стоимости жизненного цикла, полезного экономического эффекта и лимитной цены устройств контактной сети, получены: свидетельство о государственной регистрации программного продукта и акт о внедрении. За счет внедре-

ния 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации:

1. Микава, А.В. Применение контракта жизненного цикла для инфраструктурного комплекса системы токосъема [Текст] / А.Г. Галкин, А.А. Ковалев, А.В. Микава // Транспорт Урала. – 2012. – № 3 (34). – С. 85–90. – ISSN 1815-9400.
2. Микава, А.В. Комплексное внедрение инноваций на железнодорожном транспорте России [Текст] / А.А. Ковалев, Ф.С. Несмелов, А.В. Микава, А.А. Кардаполов, Н.А. Исаков // Транспортное дело России. – 2013. – № 4 (107). – С. 24–26. – ISSN 2072-8689.
3. Микава, А.В. Разработка метода расчета жизненного цикла контактной подвески [Текст] / А.Г. Галкин, А.А. Ковалев, А.В. Микава, А.В. Окунев // Транспорт Урала. – 2013. – № 3 (38). – С. 99–102. – ISSN 1815-9400.
4. 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. – ISSN 1815-4972.
5. 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.

Публикации в журналах и научных сборниках:

6. Микава, А.В. Создание контактной сети для высокоскоростных магистралей России [Текст] / 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. II. – С. 153-157. – ISBN 978-5-94614-216-8.
7. Микава, А.В. Мониторинг инфраструктурного комплекса системы токосъема в процессе эксплуатации [Текст] / А.Г. Галкин, А.А. Ковалев, А.В. Микава // Инновационный транспорт. – 2012. – № 1(2). – С. 44-48. – ISSN 2311-164X.
8. Микава, А.В. Определение стоимости жизненного цикла сложных технических систем [элек.] / А.А. Ковалев, А.В. Микава, А.В. Окунев // Управление

экономическими системами: электронный научный журнал. – 2013. – № 2(50). – С. 15. – ISSN 1999-4516.

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

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

11. Микава, А.В. Разработка метода расчета лимитной цены элементов инфраструктурного комплекса системы токосъема [Текст] / А.В. Микава // Электро-снабжение железных дорог: Межвузовский тематический сборник научных трудов. – Омск: ОмГУПС, 2013. – С. 58-61.

12. Микава, А.В. Разработка математической модели положения консоли по высоте опоры [Текст] / А.А. Ковалев, А.В. Микава // Инновационный транспорт. – 2016. – № 2(20). – С. 42-49. – ISSN 2311-164X.

Патент на изобретение:

13. Микава, А.В. Способ монтажа консоли на опоре контактной сети [Текст] / А.В. Микава, А.А. Ковалев // Патент на изобретение № 2493029 от 20.09.2013.

Свидетельство о государственной регистрации программного продукта:

14. Микава, А.В. Расчет стоимости жизненного цикла сложных технических систем [Текст] / А.В. Микава, А.Г. Галкин, А.А. Ковалев, А.В. Окунев // Авторское свидетельство № 2013613993, Российская Федерация, 22.04.2013.

Основные положения и результаты исследований автором получены самостоятельно. Статьи [4 – 6, 11] подготовлены единолично. Личный вклад автора в научных работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [1] – проанализирована целесообразность применения контракта жизненного цикла; [2] – предложена технология монтажа консолей; [3] – разработан метод расчета жизненного цикла; [7] – выявлен уровень влияния поддерживающих конструкций на стабильную работу системы токосъема; [8] – предложено автоматизировать расчет стоимости жизненного цикла устройств контактной сети; [9] – обосновано применение контрактов жизненного цикла в сфере электроэнергетики; [10] – предложено применять контракт жизненного цикла при разработке программного продукта; [12] – разработана математическая модель; [13] – разработана технология проведения работ при установке консоли на опору; [14] – разработана блок-схемы алгоритма программного продукта.

Микава Александр Ваноевич

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

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

Подписано в печать «2» октября 2017

Формат 60 × 84 1/16
Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1,1
Заказ 300.

УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66