

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Уральский государственный университет путей сообщения
(ФГБОУ ВО УРГУПС)

Факультет ИЗО

Кафедра Электроснабжение транспорта

Допускается к защите
Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент Ковалев А.А.

«17» июня 2019 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема: Исследование износа контактных проводов на участке постоянного тока

(пояснительная записка)

23.05.05.22.ПД.СОэ613.01.ПЗ

(шифр документа)

Разработал: студент СОэ-613 и 29.05.19 Лома С.В.
(студент-дипломник) (группа) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Руководитель: доцент, к.т.н. Ефимов 10.06.19 Ефимов Д.А.
(должность, звание) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Консультанты: профессор, д.э.н. В.В. Кокишаров 03.06.19 Кокишаров В.В.
(должность, звание) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

доцент, к.т.н. С.О. Белинский 03.06.19 Белинский С.О.
(должность, звание) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Н. контролер: доцент, к.т.н. А.В. Окунев 17.06.19 Окунев А.В.
(должность, звание) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Екатеринбург
2019

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Уральский государственный университет путей сообщения
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

Факультет ИЗО Кафедра Электроснабжение транспорта

Специальность 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

к.т.н., доцент Ковалев А.А.

«18» 02 2019 г.

Задание

на дипломный проект студенту

Лома Сергею Владимировичу

(фамилия, имя, отчество)

1 Тема проекта Исследование износа контактных проводов на участке постоянного тока

утверждена приказом по университету от «18» февраля 2019 г. № 184-сз

2 Срок сдачи студентом законченного проекта 21.06.19

3 Исходные данные к проекту приведены в пункте 1.1

4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

1 Проект участка контактной сети постоянного тока

2 Исследование износа контактных проводов на участке постоянного тока

3 Расчет годовых эксплуатационных затрат на текущее содержание и ремонт проектируемого участка контактной сети

4 Безопасность жизнедеятельности

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, не включая слайды презентации)

1 Схема питания и секционирования

2 План контактной сети станции

3 План контактной сети перегона

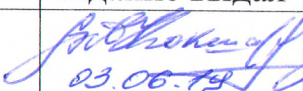
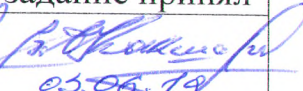

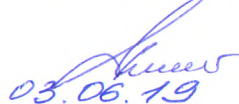
4 Гистограмма износа проводов

5 Результаты анализа износа

6 План по труду и заработной плате дистанции электроснабжения на 2019 год

7 План эксплуатационных расходов дистанции электроснабжения на 2019 год

6 Консультанты по проекту (работе, с указанием относящихся к ним разделов проекта)

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		задание выдал	задание принял
Экономическая часть	Кокшаров В.А.	 03.06.19	 03.06.19
Безопасность жизнедеятельности	Белинский С.О.	 15.01.19	 03.06.19

7 Дата выдачи задания 15.01.2019

Руководитель  /Ефимов Д.А. /

(подпись)

Задание принял к исполнению студент  /Лома С.В. /

(подпись)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов дипломного проекта (работы)	Срок выполнения этапов проекта (работы)	Отметка о выполнении
Утверждение тем ВКР	15.01.19	Выполнил
Сбор исходных данных для выполнения ВКР	25.03.19	Выполнил
Постановка целей и задач ВКР, написание введения	25.03.19	Выполнил
Разработка основной части ВКР	31.03.19	Выполнил
Разработка специальной части ВКР	14.04.19	Выполнил
Разработка раздела по экономической части ВКР	01.05.19	Выполнил
Разработка раздела по БЖД	15.05.19	Выполнил
Подготовка графической части ВКР	20.05.19	Выполнил
Оформление ВКР	26.05.19	Выполнил
Сдача отчета по преддипломной практике	20.05.19 – 26.05.19	Выполнил
Государственный экзамен подготовка и сдача	22.05.19 – 04.06.19	Выполнил
Подписание ВКР у консультантов	05.06.19	Выполнил
Подписание ВКР у руководителя	10.06.19	Выполнил
Проверка ВКР на плагиат	10.06.19 – 16.06.19	Выполнил
Нормоконтроль ВКР	10.06.19 – 16.06.19	Выполнил
Сдача ВКР на кафедру	21.06.19	Выполнил
Утверждение ВКР у заведующего кафедрой	17.06.19 – 21.06.19	Выполнил
Получение рецензии на ВКР	17.06.19 – 21.06.19	Выполнил
Защита ВКР	01.07.19 – 03.07.19	

Руководитель 

студент - дипломник 

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

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой
«Электроснабжение транспорта»
к.т.н., доцент Ковалев А.А.
«18» 02 2019 г.

**Задание
на специальный раздел ВКР
(дипломный проект)**

Студент Лома Сергей Владимирович Группа СОЭ-613
(Фамилия, Имя, Отчество)

Расчет годовых эксплуатационных затрат на текущее содержание и ремонт проектируемого участка контактной сети
(название специального раздела)

1. Тема Исследование износа контактных проводов на участке постоянного тока
(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от «18» февраля 2019 г. № 184-сз

Выпускающая кафедра Электроснабжение транспорта

Руководитель проекта доцент, к.т.н. Ефимов Д.А.
(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела профессор, д.н.э. Кокшаров В.А.

Кафедра, ведущая специальный раздел Экономика транспорта

3. Исходные данные: получены по месту практики

4. Срок сдачи студентом законченного раздела 21.06.2019

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1 Расчет численности персонала, расчет фонда оплаты труда

2 Расчет затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт, затрат на капитальный ремонт

6. Название демонстрационно-графического(их) материал(ов)

1 План по труду и заработной плате дистанции электроснабжения на 2019 год

2 План эксплуатационных расходов дистанции электроснабжения на 2019 год

7. Дата выдачи задания 15.01.2019 Консультант Кокшаров В.А.
(подпись)

Согласовано: 10.06.2019 Ефимов Д.А.
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению 29.05.19 Лома С.В.
(дата и подпись студента-дипломника)

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

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой
«Электрооборудование транспорта»

к.т.н., доцент Ковалев А.А.

«18» 02 2019 г.

**Задание
на специальный раздел ВКР
(дипломный проект)**

Студент Лома Сергей Владимирович Группа СОэ-613
(Фамилия, Имя, Отчество)

Безопасность жизнедеятельности

(название специального раздела)

1. Тема Исследование износа контактных проводов на участке постоянного тока
(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от «18» февраля 2019 г. № 184-сз

Выпускающая кафедра Электрооборудование транспорта

Руководитель проекта доцент, к.т.н. Ефимов Д.А.

(Фамилия, инициалы, должность или ученое звание, ученая степень)

2. Консультант раздела доцент, к.т.н. Белинский С.О.

Кафедра, ведущая специальный раздел Техносферная безопасность

3. Исходные данные: получены по месту практики

4. Срок сдачи студентом законченного раздела 21.06.2019

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1 Меры безопасности при измерении износа контактных проводов

2 Экспертиза дипломного проекта на соответствие всех разделов требованиям

безопасности и экологичности

6. Название демонстрационно-графического(их) материал(ов)

Измерение износа контактного провода

7. Дата выдачи задания 15.01.2019 Консультант Белинский С.О.
(подпись)

Согласовано: 10.06.2019 Ефимов Д.А.
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению 29.05.19 Лома С.В.
(дата и подпись студента-дипломника)

РЕФЕРАТ

В данном дипломном проекте всего: стр. 80, рис. 3, табл. 7, прил. 6, использованных источников 43 назв., чертежей и плакатов 8 листов.

КОНТАКТНАЯ СЕТЬ, НЕСУЩИЙ ТРОС, НАГРУЗКИ НА ПРОВОДА, ВЕТРОВОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ПРОВОДА, ДЛИННА ПРОЛЕТА, ПЛАН КОНТАКТНОЙ СЕТИ, АНКЕРНЫЙ УЧАСТОК, МОНТАЖНЫЕ КРИВЫЕ, НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ, ИЗНОС КОНТАКТНОГО ПРОВОДА, ИЗМЕРЕНИЕ ИЗНОСА, АНАЛИЗ ИЗНОСА, ПЛАН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ, БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

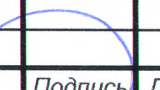
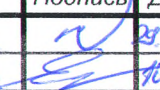
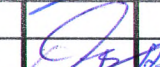
CONTACT NETWORK, CABLE NETWORK, WIRE CONVENIENCE, CONTACT NETWORK PLAN, ANCHOR POSITION, MOUNTING CURVE, ASSEMBLING CAPACITY, APPLICATION COOKDAYS OPERATING COSTS PLAN, LIFE SAFETY, ENVIRONMENTAL SAFETY

Объект исследования: Двухпутный участок железной дороги, включающий в себя станцию и перегон.

Цель работы: Выполнить проект контактной сети участка железной дороги, электрификация которого предусматривается на постоянном токе, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, рассчитать стоимость содержания проектируемого участка, а также произвести анализ износа контактных проводов на существующем участке железной дороги методом статистического анализа.

Экономика: В экономическом разделе рассчитан штат обслуживающего персонала района контактной сети, определены затраты на содержание проектируемого участка, которые составили 6922254,61 р. Из них 2314014,61 р. составили расходы по техническому обслуживанию и текущему ремонту контактной сети, 2304120,00 р. – расходы на капитальный ремонт контактной сети и 2304120,00 р. – амортизационные отчисления.

23.05.05.22.ПД.СОэ613.01.ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			
				23.05.22			
Разраб.		Лома С.В.			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Ефимов Д.А.		10.06.22		6	80
Н. Контр.		Окунев А.В.		23.05.22	Исследование износа контактных проводов на участке постоянного тока		
					ФГБОУ ВО УрГУПС Кафедра Электроснабжение		

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

ОТЗЫВ

о выпускной квалификационной работе
студента ИЗО
Лома Сергея Владимировича

специальности 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов»,
профиль "Электроснабжение"

Руководитель к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение транспорта» Ефимов Д. А.

Тема ВКР: «Исследование износа контактных проводов на участке постоянного тока»

Выпускная квалификационная работа выполнена студентом в полном соответствии с заданием.

В первом разделе работы выполнен проект участка контактной сети постоянного тока станции и прилегающего к ней перегона.

Во втором разделе проведен анализ износа контактных проводов на участке контактной сети постоянного тока.

В третьем разделе определены затраты на текущее содержание проектируемого участка контактной сети.


Раздел безопасности жизнедеятельности посвящен безопасности труда при измерении износа контактного провода.

Предложенная тема студентом раскрыта полностью. Работа выполнена на хорошем теоретическом уровне. Исследование посвящено актуальной теме и обладает определенной практической значимостью. В ходе работы Лома С. В. проявил себя самостоятельным и инициативным специалистом. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ВКР.

Считаю возможным допустить Лома Сергея Владимировича к защите ВКР и рекомендую оценить его работу на «отлично».

Дата

10.06.19


(подпись)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Уральский государственный университет путей сообщения
(ФГБОУ ВО УрГУПС)

РЕЦЕНЗИЯ

о дипломном проекте студента факультета ИЗО

специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов

Лома Сергей Владимирович

(Фамилия, имя, отчество)

Рецензент: Заместитель начальника Кунгурской дистанции
электроснабжения. Дурнев Александр Семенович

Тема дипломного проекта: Исследование износа контактных проводов на
участке постоянного тока.

Дипломный проект посвящён: В дипломном проекте проведён анализ износа
контактных проводов на участке постоянного тока.

Основные результаты: Представленный на рецензию дипломный проект по
своему содержанию в полной мере соответствует заданию и требованиям к
дипломным проектам. По каждой части дипломного проекта студентом
проделана объемная работа, решены поставленные руководителем задачи.

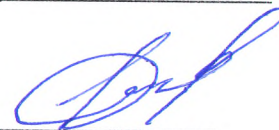
Тема дипломного проекта раскрыта в полной мере. Теоретическая часть
дипломного проекта соответствует уровню инженера, проделанная в
специальной части проекта работа может быть использована проектными
организациями при разработке проектов сооружения контактной сети, а
также в работе дистанции электроснабжения при подготовке кадров и
технической учебе. В дипломном проекте значительная часть работы
проделана на ПЭВМ. Выполнены расчеты в основной и экономической части
дипломного проекта, графическая часть.

Оформление дипломного проекта: Диплом оформлен аккуратно и качественно, пояснительная записка и графическая часть полностью соответствуют требованиям ГОСТ и ЕСКД

Изложенное позволяет считать, что рецензируемый дипломный проект студента: Лома Сергея Владимировича заслуживает оценки «отлично».

Дата 21.06.2019

ЭЧЗк Дурнев А.С.



(подпись)



1 Проект участка контактной сети постоянного тока

1.1 Исходные данные

Согласно задания на дипломный проект при разработке проекта участка постоянного тока приняты следующие исходные данные:

а) Схема станции, для которой разрабатывается проект электрификации, представлена на рисунке 1.1.

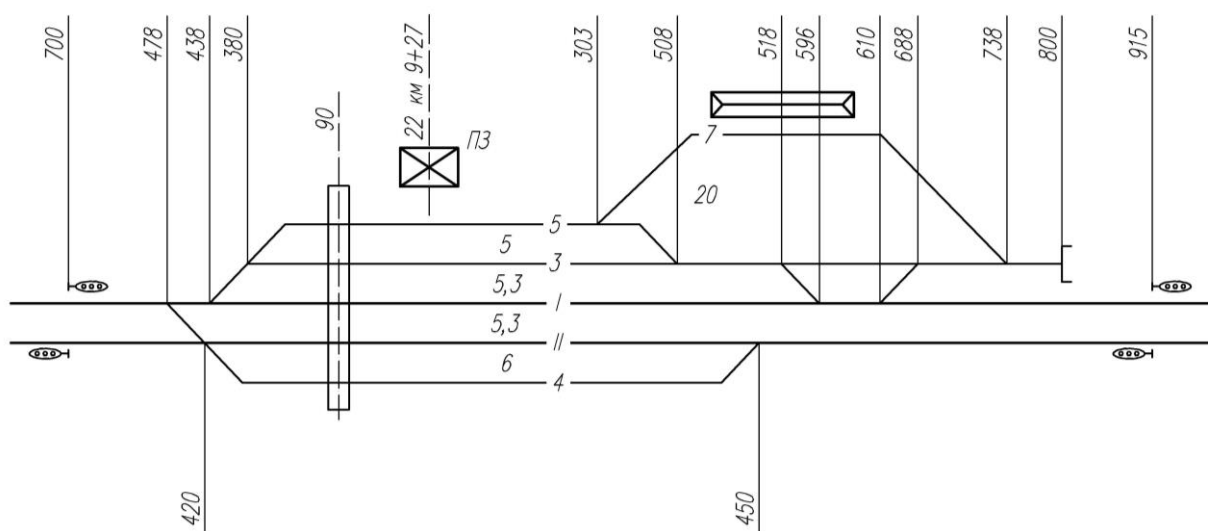


Рисунок 1.1 – Пикетаж основных объектов проектируемой станции

Схема содержит информацию о пикетаже остряков стрелочных переводов, входных светофоров станции, концов тупиков и оси пешеходного моста. Пикетаж принят условным относительно оси пассажирского здания. Также на схеме приведены расстояния между осями путей. Для всех одиночных стрелочных переводов и переводов стрелочных улиц, которые выходят на главный путь, используется марка 1/11. Марка всех остальных переводов станции принимается 1/9.

Электрифицируемый двухпутный перегон располагается справа от станции. Информация о объектах и сооружениях, расположенных на перегоне, представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Пикетаж основных объектов перегона проектируемого участка

Объекты	Пикетаж
1	2
Входной сигнал заданной станции	23 км 8+42
Начало кривой $R = 600$ м, центр слева	24 км 2+17
Конец кривой	5+38
Ось каменной трубы с отверстием 1,1 м	5+94

Окончание таблицы 1.1

1	2
Начало кривой $R = 850$ м, центр справа	7+37
Конец кривой	25 км 4+64
Мост через реку с ездой понизу: пикет оси моста длина моста, м	7+27
	130
Ось ж/б трубы с отверстием 3,5 м	8+70
Начало кривой $R = 1000$ м, центр слева	9+90
Конец кривой	26 км 1+27
Входной сигнал следующей станции	27 км 3+27

С обеих сторон от моста в каждую сторону имеется насыпь. Длина насыпи 300 м, высота насыпи 6 м.

б) Род тока – постоянный, напряжение в контактной сети 3 кВ. Подвеска главных путей – М-120 + 2НлФ-100, на всех боковых путях станции – М-120 + НлФ-100.

в) Место расположения участка – г. Пермь, нормативная минимальная температура воздуха $t_{min} = -50$ °С,, нормативная максимальная температура воздуха $t_{max} = 40$ °С.

Район по ветровому давлению – 1, нормативная скорость ветра $V_n = 20,6$ м/с, коэффициент усиления ветровой нагрузки для станции – 0,6. На перегоне указанный коэффициент принимается на насыпи равным 1,2, для остальной части – 1,1.

Район по интенсивности гололеда – 2, нормативная толщина стенки гололедных образований $b_n = 10$ мм, коэффициент интенсивности гололедной нагрузки для станции – 0,8. На перегоне указанный коэффициент принимается на насыпи равным – 1,4, для остальной части перегона – 1,1.

1.2 Расчет нагрузок на провода

1.2.1 Нагрузка, обусловленная собственным весом проводов

Расчет нагрузок на провода выполняется для контактной подвески главного пути станции. Для остальных участков нагрузки рассчитываются аналогично.

Линейная удельная нагрузка от веса контактной подвески может быть определена по выражению

$$g = g_n + n_k \cdot (g_k + g_c), \quad (1.1)$$

где g_n – нагрузка от веса несущего троса, Н/м;
 g_k – нагрузка от веса контактного провода [6], Н/м;

g_c – нагрузка от веса арматуры и струн, $g_c = 1$ Н/м;

n_k – количество контактных проводов в подвеске.

Линейная нагрузка от веса несущего троса или контактного провода находится по формуле

$$g_i = 9,81 \cdot S_i \cdot \gamma_i \cdot k_n, \quad (1.2)$$

где S_i – площадь сечения соответствующего провода, m^2 ;

γ_i – плотность материала, из которого изготовлен провод, kg/m^3 ;

k_n – конструктивный коэффициент, для одножильного сплошного провода принимается равным $k_n = 1$, для многожильного, образованного несколькими проволоками – $k_n = 1,025$.

В соответствии с [6] для несущего троса М-120 площадь поперечного сечения S_n принимается равной $1,17 \cdot 10^{-4} m^2$, плотность материала γ_n составляет $8900 kg/m^3$, для контактного провода НлФ-100 площадь поперечного сечения $S_k = 1 \cdot 10^{-4} m^2$, плотность материала $\gamma_k = 8900 kg/m^3$.

Линейная нагрузка от веса контактного провода, несущего троса и контактной подвески целиком составит

$$g_k = 9,81 \cdot 1,0001 \cdot 8900 = 8,731 \text{ Н/м,}$$

$$g_n = 9,81 \cdot 1,025 \cdot 0,000117 \cdot 8900 = 10,471 \text{ Н/м,}$$

$$g = 10,471 + (8,731 + 1) \cdot 2 = 29,932 \text{ Н/м.}$$

1.2.2 Нагрузка от веса гололеда

Нагрузка от веса гололеда на один метр длины провода или троса при цилиндрической форме его отложения определяется по формуле

$$g_{gi} = 27,7 \cdot b_r \cdot (d_i + b_r) \cdot 10^{-3}, \quad (1.3)$$

где b_r – толщина стенки гололеда, мм;

d_i – диаметр провода [6], для несущего троса М-120 составляет 14 мм.

При расчете гололедной нагрузки на контактные провода в соответствии с рекомендациями [6] учитываем, что при проходе токоприемника часть гололедных отложений удаляется с провода. Исходя из этого принимаем, что толщина стенки гололеда условно равна половине заданной по гололедному району.

Расчетное значение толщины стенки гололеда определяется по формуле

$$b_{гi} = k_{г} \cdot b_{н} \quad (1.4)$$

где $k_{г}$ – коэффициент гололеда, для станции составляет 1;
 $b_{н}$ – толщина гололедного слоя в соответствии с заданием, мм.

$$b_{гk} = \frac{10 \cdot 0,8}{2} = 4 \text{ мм},$$

$$b_{гн} = 10 \cdot 0,8 = 8,0 \text{ мм}.$$

Расчетный диаметр контактного провода ввиду его фасонного сечения находится как среднее значение между шириной и высотой сечения по формуле

$$d_{cp} = \frac{H + A}{2}, \quad (1.5)$$

где H – высота сечения провода, для НлФ-100 составляет 11,8 мм;
 A – ширина сечения провода, для НлФ-100 составляет 12,81 мм.

$$d_{cp} = \frac{(12,81 + 11,8)}{2} = 12,305 \text{ мм}.$$

Линейная нагрузка от веса гололеда на несущем тросе и контактом проводе

$$g_{гн} = \frac{27,78 \cdot (14 + 8)}{1000} = 4,875 \text{ Н/м},$$

$$g_{гk} = \frac{27,74 \cdot (12,305 + 4)}{1000} = 1,807 \text{ Н/м}.$$

Полная удельная нагрузка от веса контактной подвески с гололедными образованиями может быть найдена по выражению

$$g_{г} = g + g_{гн} + n \cdot g_{гk}, \quad (1.6)$$

где g – удельный вес контактной подвески, Н/м;
 $g_{гн}, g_{гk}$ – соответственно удельный вес гололедных образований на несущем тросе и контактом проводе, Н/м.

Полная удельная нагрузка от веса контактной подвески с гололедными образованиями составит

$$g_r = 29,932 + 1,807 \cdot 2 + 4,875 = 38,421 \text{ Н/м.}$$

1.2.3 Ветровые нагрузки

Ветровая нагрузка на провод без гололеда определяется по формуле

$$p_i = 0,615 \cdot V_p^2 \cdot C_x \cdot d_i, \quad (1.7)$$

- где V_p – расчетная скорость ветра, определяется по выражению $V_p = k_b \cdot V_n$, м/с;
- C_x – коэффициент, определяющий аэродинамические свойства поверхности, на которую воздействует ветер, согласно [6] принимаем для несущего троса равным 1,25, для контактного провода – 1,55;
- d_i – диаметр провода для несущего троса или высота сечения для контактного провода, м.

Ветровая нагрузка при наличии на проводе гололеда

$$p_{ri} = 0,615 \cdot (V_r \cdot k_b)^2 \cdot C_x \cdot (d_i + 2 \cdot b_r), \quad (1.8)$$

- где V_r – расчетная скорость ветра в режиме «гололед с ветром», определяется по формуле $V_r = 0,6 \cdot V_p$, м/с;
- k_b – коэффициент интенсивности ветровой нагрузки, задан в исходных данных для каждого участка.

Линейные нагрузки от действия ветра на провода контактной подвески главных путей станции составят

$$p_n = 0,615 \cdot 1,25 \cdot 14 \cdot 12,36^2 = 1,644 \text{ Н/м,}$$

$$p_k = 0,615 \cdot 1,55 \cdot 11,8 \cdot 12,36^2 = 1,718 \text{ Н/м,}$$

$$p_{rn} = 0,615 \cdot 1,25 \cdot (14 + 2 \cdot 8) \cdot 7,416^2 = 1,268 \text{ Н/м,}$$

$$p_{rk} = 0,615 \cdot 1,55 \cdot (11,8 + 8) \cdot 7,416^2 = 1,038 \text{ Н/м.}$$

1.2.4 Результирующие нагрузки на провода контактной подвески

Данные нагрузки находятся как суммарные нагрузки, действующие на провода подвески в режиме «максимальный ветер» и «гололед с ветром». Для каждого режима учитываются комбинации нагрузок, определенных выше. Полная линейная нагрузка на несущий трос в режиме «максимальный ветер» находится без учета воздействия ветра на контактный провод, так как большую

часть воздействия на контактный провод воспринимает фиксатор, в то время как несущий трос ей не нагружается. Следовательно

$$q_n = \sqrt{g^2 + p_n^2}, \quad (1.9)$$

$$q_n = \sqrt{29,932^2 + 1,644^2} = 29,977 \text{ Н/м.}$$

При наличии гололедных образований (в режиме «гололед с ветром») указанная нагрузка может быть найдена по формуле

$$q_{гн} = \sqrt{g_{гн}^2 + p_{гн}^2}, \quad (1.10)$$

$$q_{гн} = \sqrt{38,421^2 + 1,268^2} = 38,442 \text{ Н/м.}$$

Полная линейная нагрузка на контактный провод в режиме «максимальный ветер» находится по формуле

$$q_k = \sqrt{g_k^2 + p_k^2}, \quad (1.11)$$

$$q_k = \sqrt{(2 \cdot (8,731 + 1))^2 + 1,718^2} = 19,538 \text{ Н/м.}$$

В режиме «гололед с ветром» она может быть найдена по формуле

$$q_{гк} = \sqrt{(g_k + g_{гк})^2 + p_{гк}^2}, \quad (1.12)$$

$$q_{гк} = \sqrt{(2 \cdot (8,731 + 1,807 + 1))^2 + 1,038^2} = 23,098 \text{ Н/м.}$$

Результаты расчета приведены в таблице 1.2.

Для остальных участков (боковые пути станции, перегон) нагрузки находятся аналогично. Результаты расчетов приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Нагрузки на провода контактной сети

Нагрузка, Н/м	Главный путь	Боковой путь	Насыпь перегона	Перегон
1	2	3	4	5
От веса НТ g_n	10,471	10,471	10,471	10,471
От веса КП g_k	8,731	8,731	8,731	8,731
От веса подвески g	29,932	20,201	29,932	29,932
От веса гололедных образований на НТ $g_{гн}$	4,875	4,875	10,858	7,618
От веса гололедных образований на КП $g_{гк}$	1,807	1,807	3,743	2,713
От веса подвески с гололедом $g_{г}$	38,421	26,883	48,277	42,975

Окончание таблицы 1.2

1	2	3	4	5
От действия ветра на НТ p_n	1,644	1,644	6,577	5,526
От действия ветра на КП p_k	1,718	1,386	8,204	5,776
От ветра при гололеде на НТ $p_{гн}$	1,268	1,268	7,103	5,116
От ветра при гололеде на КП $p_{гк}$	1,038	0,837	6,458	4,018
Результирующая на НТ без гололеда q_n	29,977	20,268	30,646	30,438
Результирующая на КП без гололеда q_k ,	19,538	9,829	21,120	20,301
Результирующая на НТ с гололедом $q_{гн}$	38,442	26,913	48,797	43,278
Результирующая на КП с гололедом $q_{гк}$	23,098	11,568	27,711	25,209

1.3 Определение натяжений проводов в различных режимах

В расчетах используются значения натяжений несущего троса и контактного провода в различных режимах. Допустимое натяжение несущего троса находится по формуле

$$T_d = \frac{a \cdot \sigma_{вр} \cdot S}{k_3}, \quad (1.13)$$

где a – коэффициент, учитывающий неравномерность характеристик отдельных жил многожильных проводов, для несущего троса принимается равным $a = 0,95$;

$\sigma_{вр}$ – временное сопротивление разрыву материала провода, Па;

S – расчетная площадь поперечного сечения провода, м²;

k_3 – коэффициент запаса.

В соответствии с [6] для расчета были приняты следующие значения механических характеристик: для провода типа М-120 $\sigma_{вр1} = 3,9 \cdot 10^8$ Па, $S_1 = 1,17 \cdot 10^{-4}$ м².

Тогда по формуле (1.13)

$$T_{д1} = \frac{0,95 \cdot 3,9 \cdot 10^8 \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}}{2} = 21674 \text{ Н.}$$

Для дальнейших расчетов используем рекомендуемые значения согласно [6]. Таким образом, далее принимаем $T_{д1} = 19600$ Н.

Натяжение T_0 несущего троса при беспровесном положении контактного провода с учетом рекомендованных [6] коэффициентов снижения величины

натяжения относительно допустимого значения предварительно принимается равным

$$T_0 = T_d \cdot (0,75 \dots 0,8); \quad (1.14)$$

$$T_{01} = 19600 \cdot (0,75 \dots 0,8) = (14700 \dots 15680) = 15000 \text{ Н.}$$

Натяжение несущего троса при воздействии ветра (в режиме «максимальный ветер») в соответствии с [1] определяется по формуле

$$T_{в1} = T_d \cdot k, \quad (1.16)$$

$$T_{в1} = 19600 \cdot 0,60 = 11800 \text{ Н.}$$

Так как контактный провод в используемой контактной подвеске компенсирован, то в расчетах его натяжение во всех режимах одинаково и принимается для одного контактного провода НлФ-100 $K = 10500 \text{ Н}$, а в нашем случае для двух контактных проводов – $K = 21000 \text{ Н}$.

1.4 Расчет допустимых длин пролетов

1.4.1 Расчет допустимой длины пролета на прямой

Максимально допустимая длина пролета на прямом участке пути определяется по формуле

$$L_{max} = 2 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot B_{пр}}{p_k - p_3}}, \quad (1.18)$$

где K – натяжение контактного провода, Н;

p_3 – ветровая нагрузка на контактный провод, Н/м;

p_k – эквивалентная нагрузка на контактный провод от несущего троса, Н/м;

В соответствии с [6] величина $B_{пр}$ при одинаковых разносторонних зигзагах определяется по формуле

$$B_{пр} = b_{к дп} - \gamma_k + \sqrt{(b_{к дп} - \gamma_k)^2 - a^2}, \quad (1.19)$$

где $b_{к дп}$ – допустимое отклонение контактного провода от оси пути, на прямом участке, $b_{к дп} = 0,5 \text{ м}$;

γ_k – отклонение стойки от вертикального положения на уровне крепления контактного провода, согласно [6] для скорости

ветра 12,4 м/с прогиб равен 0,01 м;
a – зигзаг, м.

$$B_{\text{пр}} = 0,5 - 0,01 + \sqrt{(0,5 - 0,01)^2 - 0,5^2} = 0,877 \text{ м.}$$

Эквивалентная нагрузка определяется по формуле

$$p_3 = \frac{p_k \cdot T_B - p_H \cdot K - \frac{8 \cdot K \cdot T_B}{L^2} \left(\frac{h_H p_H}{q_H} + \gamma_H - \gamma_K \right)}{T_B + K + \frac{10,6 \cdot e_{\text{cp}} \cdot K \cdot T_B}{g_k \cdot L^2}} \quad (1.20)$$

где L – длина пролета, для которого определяется нагрузка, м;
 h_H – длина узла подвеса несущего троса, для изолятора ПСПКр-70-3/0,8 с учетом длины седел принимаем равной 0,56 м;
 γ_H – отклонение опоры от вертикального положения на уровне несущего троса [6], 0,015 м;
 e_{cp} – расстояние между несущим тросом и контактном проводом в середине пролета, определяемая по формуле (1.21).

$$e_{\text{cp}} = h_0 - \frac{0,115 \cdot g \cdot L^2}{T_0}, \quad (1.21)$$

где h_0 – конструктивная высота подвески, $h_0 = 2$ м.

Методика расчета значения L_{max} подробно описана в [1, 5, 6] и основана на последовательном проведении расчета по формулам (1.18) – (1.21), пока не будет достигнута требуемая точность в определении L_{max} , которая в нашем случае принимается равной 5 м между результатами двух последовательно проведенных расчетов. При первом расчете длина L_{max} определяется без учета влияния несущего троса ($p_3=0$).

При $p_3 = 0$

$$L_{\text{max}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{21000 \cdot 0,877}{(1,718 - 0)}} = 207,1 \text{ м,}$$

$$e_{\text{cp}} = 2 - \frac{0,155 \cdot 29,932 \cdot 207,1^2}{15000} = -7,843 \text{ м,}$$

$$p_3 = \frac{1,718 \cdot 11800 - 1,644 \cdot 21000 - \frac{8 \cdot 21000 \cdot 11800}{207,1^2} \left(\frac{0,56 \cdot 1,644}{29,977} + 0,015 + 0,01 \right)}{11800 + 21000 + \frac{-7,843 \cdot 10,6 \cdot 11800 \cdot 21000}{17,462 \cdot 207,1^2}} = -4,665 \text{ Н/м,}$$

$$L_{max}'' = 2 \cdot \sqrt{\frac{21000 \cdot 0,877}{(1,718 - (-4,665))}} = 107,5 \text{ м.}$$

Так как $|L_{max}' - L_{max}''| = 99,6 \text{ м} > 5 \text{ м}$, следовательно проводим корректировку нагрузки p_3 , продолжая расчеты.

При $p_3 = -4,665 \text{ Н/м}$

$$e_{cp} = 2 - \frac{0,155 \cdot 29,932 \cdot 107,5^2}{15000} = -0,650 \text{ м,}$$

$$p_3 = \frac{1,718 \cdot 11800 - 1,644 \cdot 21000 - \frac{8 \cdot 21000 \cdot 11800}{107,5^2} \left(\frac{0,561 \cdot 644}{29,977} + 0,015 + 0,01 \right)}{11800 + 21000 + \frac{-0,650 \cdot 10,6 \cdot 11800 \cdot 21000}{17,462 \cdot 107,5^2}} = -0,728 \text{ Н/м,}$$

$$L_{max}''' = 2 \cdot \sqrt{\frac{21000 \cdot 0,877}{(1,718 - (-0,728))}} = 173,6 \text{ м.}$$

Так как $|L_{max}'' - L_{max}'''| = 66,1 \text{ м} > 5 \text{ м}$, следовательно проводим корректировку нагрузки p_3 , продолжая расчеты.

При $p_3 = -0,728 \text{ Н/м}$

$$e_{cp} = 2 - \frac{0,155 \cdot 29,932 \cdot 173,6^2}{15000} = -4,914 \text{ м,}$$

$$p_3 = \frac{1,718 \cdot 11800 - 1,644 \cdot 21000 - \frac{8 \cdot 21000 \cdot 11800}{173,6^2} \left(\frac{0,561 \cdot 644}{29,977} + 0,015 + 0,01 \right)}{11800 + 21000 + \frac{0,503 \cdot 10,6 \cdot 11800 \cdot 21000}{17,462 \cdot 173,6^2}} = -2,206 \text{ Н/м,}$$

$$L_{max}'''' = 2 \cdot \sqrt{\frac{21000 \cdot 0,877}{(1,718 - (-2,206))}} = 137,036 \text{ м.}$$

Так как $|L_{max}''' - L_{max}''''| = 36,5 \text{ м} < 5 \text{ м}$, следовательно проводим корректировку нагрузки p_3 , продолжая расчеты. Дальнейшие расчеты выполняются аналогично. Разница менее 5 м достигнута при значении длины пролета 107,5 м. Значит получившееся значение следует принять за окончательный результат. По условиям обеспечения качественного токосъема по заданию руководителя диплома длина пролета ограничивается 65 м, поэтому окончательно принимаем длину пролета на главных путях станции равной 65 м.

1.4.2 Расчет допустимых длин пролетов в кривой

В кривом участке пути допустимая длина пролета может быть определена по выражению

$$L_{max} = 2 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot B_{кр}}{p_k - p_3 + \frac{K}{R}}} \quad (1.22)$$

где R – радиус кривой, м;
 $B_{кр}$ – максимальный вынос контактного провода, определяется по формуле (1.23).

$$B_{кр} = b_{к\ дп} - \gamma_k + a. \quad (1.23)$$

В соответствии с [6] принимаем следующие значения прогибов опор: для перегона $\gamma_k = 0,01$ м, $\gamma_n = 0,015$ м для насыпи $\gamma_k = 0,01$ м, $\gamma_n = 0,015$ м. Результаты расчета сносим в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты расчета допустимых длин пролетов

Место расположения пролета		a , м	$L_{доп}$, м
Станция	Главный путь	0,3	65
	Боковой путь	0,3	65
	Стрелочные переводы в горловине	0,4	55
Перегон	Прямая	0,3	65
	Кривая радиусом 600 м	0,4	58
	Кривая радиусом 850 м	0,4	65
	Кривая радиусом 1000 м	0,4	65
Насыпь	Прямая	0,3	65
	Кривая радиусом 850 м	0,4	56
	Кривая радиусом 1000 м	0,4	64

1.5 Разработка схемы питания и секционирования и плана контактной сети

1.5.1 Разработка схемы питания и секционирования

Требования к схеме питания и секционирования (СПС) станции приведены в [3]. По аналогии с типовыми схемами [1, 5, 6] подвеска станции делится на 4 секции: I путь, II путь, 3, 5 и 7 пути, 4, путь. Седьмой путь, примыкающий к пакгаузу дополнительно отделяется от 3 и 5 путей секционными разъединителями и запитывается от низ нормально замкнутым разъединителем с ручным приводом и заземляющим контактом 31. Также секционируется тупик

станции разъединителем 32. Контактные подвески главных путей станции и путей перегонов, примыкающих с обеих сторон к станции, разделяются между собой трехпролетными изолирующими сопряжениями. Для возможности питания контактной сети перегонов от контактной сети станции (а также наоборот – станции от перегона) при выводе в ремонт питающих фидеров и при аварийных ситуациях производится установка секционных разъединителей А, Б, В и Г с моторными приводами, которые подключаются так, чтобы иметь возможность зашунтировать изолирующие сопряжения. В нормально режиме питание секций станции и перегонов осуществляется отдельно и независимо друг от друга по индивидуальным фидерам. Разъединители при этом находятся в нормально отключенном состоянии.

Питание контактной сети путей перегонов осуществляется от тяговой подстанции по независимым отдельным питающим фидерам Ф-1, Ф-2, Ф-4 и Ф-5. В местах подключения фидеров к контактной сети перегонов устанавливаются линейные разъединители Фл1, Фл2, Фл4, Фл5. Для возможности оперативного отключения фидеров от контактной сети в случае необходимости изменения схемы питания и секционирования приводы всех разъединителей приняты моторными. Питание контактной сети станции выполняется по фидеру Ф-3. Ввиду незначительной его длины установка линейного разъединителя не предусматривается.

На территории тяговой подстанции для возможности отключения фидеров при выводе в ремонт устанавливаются секционные разъединители Ф1, Ф2, Ф3, Ф4 и Ф5. На фидере Ф-3 дополнительно устанавливаются разъединители Ф3₁ и Ф3₂ для возможности отдельного отключения главных путей станции.

Схема питания и секционирования приведена в графической части дипломного проекта (лист 1).

1.5.2 Составление плана контактной сети

План контактной сети станции составляется согласно рекомендациям, изложенным в [1, 5, 6] в следующем порядке:

- подготовка плана станции исходя из заданной схемы путевого развития, определение положения точек пересечения ветвей контактной подвески на воздушных стрелках;
- размещение опор в горловинах станции и на изолирующих сопряжениях на границах с перегонами, в месте расположения пешеходного моста;
- разбивка анкерных участков, определение необходимости выполнения дополнительных неизолирующих сопряжений при превышении длины анкерного участка свыше 1600 м, определение мест расположения средних анкерных;
- расстановка опор в остальной части, расстановка зигзагов; определение трасс фидерных линий (в т.ч. фидера обратного тока);

– подбор типов изделий (опор, фундаментов, консолей и фиксаторов, оттяжек, ригелей поперечин и т.д.); окончательная обработка плана (нанесение номеров опор, электрических соединителей на воздушных стрелках и др.).

При расстановке опор учитываются максимальные длины пролетов, рассчитанные в подразделе 1.4.

Трассировку питающих линий осуществляют на опорах контактной сети, подвешивая их полевой стороны на кронштейны. Одновременно с трассировкой размещают разъединители и секционные изоляторы исходя из принятой в схемы питания и секционирования. План контактной сети станции приведен в графической части дипломного проекта (лист 2).

План контактной сети перегона составляется согласно рекомендациям, изложенным в [1, 5, 6] в следующем порядке:

– подготовка плана перегона исходя из заданных в таблице 1.1 объектов, а также протяженность насыпи в месте расположения моста, отрисовка условного плана пути, на котором указывают положение и величину радиуса кривых (с условным изображением стороны расположения их центров);

– отрисовка изолирующих сопряжений на границе станции и перегона в соответствии с разработанным планом контактной сети станции, размещение опор и ветровых связей на мосту и в его близи;

– условная разбивка перегона на анкерные участки, определение приближенного места расположения неизолирующих сопряжений и средних анкеронок;

– расстановка промежуточных опор с учетом максимальных длин пролетов, рассчитанных в подразделе 1.4, в зависимости от положения кривых, насыпи и искусственных сооружений;

– расстановка зигзагов; трассировка линий усиливающих проводов, ВЛ-10 кВ продольного электроснабжения, волновода;

– выбор типов изделий на перегоне; окончательная обработка плана.

План контактной сети перегона приведен в графической части дипломного проекта (лист 3).

Опоры на станции и перегоне по возможности расставляются с максимально допустимыми длинами пролетов, причем каждый пролет в соответствии с требованиями [3] должен быть согласован с соседними пролетами, не отличаясь от них более чем на 25%. В средней части каждого анкерного участка перегона располагается средняя анкеронка, размещаемая в двух пролетах, длина которых для компенсированной подвески уменьшается на 5 % по сравнению с максимально допустимой на данном участке. На мосту и подходе к нему длина пролета ограничена 45 м. Точки подвеса на мосту располагаются симметрично относительно оси моста. Опоры размещают на расстоянии не менее 5 м от края каменных и железобетонных труб.

Воздушная линия 10 кВ продольного электроснабжения располагается с полевой стороны опор одного из путей на кронштейнах типа КВЛЦ-63. Усиливающие линии располагаются вдоль оси пути либо с полевой стороны

опор на кронштейнах КФЦ-6,5, либо (если с полевой стороны уже расположена линия ВЛ-10 кВ) со стороны пути на Г-образных стойках.

Опоры в соответствии с техническим указанием департамента электрификации и электроснабжения № К-04/07 (письмо № ЦЭСС-4-06/02 от 01.06.2007 г.) применены металлические типа МКГ для промежуточных опор и МКГА для анкерных опор и опор жестких поперечин. Опоры устанавливаются на железобетонные фундаменты типа ТСА.

Выбор опорных и поддерживающих конструкций производится по методике, описанной в [1, 6]. Выбранные типы устройств заносятся в сводные таблицы, которые располагаются на планах контактной сети.

1.6 Механический расчет анкерного участка на главном пути станции

1.6.1 Расчет длины расчетного эквивалентного пролета

Выполним механически расчет анкерного участка 1 НК станции. Длина эквивалентного пролета находится по выражению

$$L_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{L_a}}, \quad (1.24)$$

где L_i – длина i -го из n пролетов, м;
 L_a – длина анкерного участка, в нашем случае составляет 1584, м;

$$L_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 65^3 + 63^3 + 61^3 + 60^3 + 2 \cdot 50^3 + 3 \cdot 40^3 + 6 \cdot 45^3 + 42^3 + 53^3}{1029}} = 54,0 \text{ м.}$$

1.6.2 Расчет длины критического пролета и натяжения несущего при беспровесном положении контактного провода

Для выбора расчетного режима, в котором будет наблюдаться максимальная нагрузка на несущий трос (НТ), необходимо определить критический пролет, для которого наблюдается равенство нагрузки как в режиме «гололед с ветром», так и в режиме «минимальная температура»

$$L_{кр} = Z_{max} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (t_r - t_{min})}{W_r^2 - W_{min}^2}} \quad (1.25)$$

где Z_{max} – эквивалентное натяжение НТ, Н;
 W_r, W_{min}^2 – эквивалентные нагрузки на подвеску в режимах «гололед с ветром» и «минимальная температура», Н/м;
 α – коэффициент температурного линейного расширения

материала НТ, $1/^\circ\text{C}$.

Значения Z_x и W_x могут быть найдены по выражениям

$$Z_x = T_x + \varphi_x K, \quad (1.26)$$

$$W_x = q_x \cdot \left(1 + \frac{g \cdot \varphi_x \cdot K}{g_x \cdot T_0} \right) \quad (1.27)$$

где g_x и q_x – соответственно линейные нагрузки от веса подвески и полная нагрузка в режиме x , Н/м;
 K – полное натяжение контактных проводов в подвеске, Н;
 T_0 – натяжение НТ при беспровесном положении контактного провода, Н;
 φ_x – коэффициент, определяемый типом подвески.

$$\varphi_x = \frac{\lambda}{1 + \frac{(1-\lambda) \cdot K}{T_x}}, \quad (1.28)$$

где $\lambda = \frac{(L_3 - 2c)^2}{L_3^2}$. (1.29)

В последней формуле величина c – расстояние от точки крепления подвески на консоли до первой простой струны. В нашем случае эта величина составляет 10 м.

По формулам (1.25) – (1.29) определим величину критического пролета:

$$\lambda = \frac{(54,0 - 2 \cdot 10)^2}{54,0^2} = 0,397,$$

$$\varphi_x = \frac{0,397}{1 + (1 - 0,397) \cdot \frac{21000}{19600}} = 0,241,$$

$$Z_{max} = 19600 + 0,241 \cdot 21000 = 24659 \text{ Н},$$

$$W_r = 38,442 \cdot \left(1 + \frac{29,932 \cdot 0,241 \cdot 21000}{38,421 \cdot 15000} \right) = 48,542 \text{ Н/м},$$

$$W_{min} = 29,932 \cdot \left(1 + \frac{0,241 \cdot 21000}{15000} \right) = 40,028 \text{ Н/м},$$

$$L_{\text{кр}} = 24659 \cdot \left(\frac{241,7 \cdot 10^{-5} \cdot (-5 - (-50))}{48,542^2 - 40,028^2} \right) = 121,7 \text{ м.}$$

Сравнивая величины критического и эквивалентного пролета можем заключить, что в нашем случае длина критического пролета значительно больше, чем эквивалентного пролета (121,7 м > 54,0 м). Тогда в соответствии с [6] в качестве расчетного принимаем режим «минимальная температура».

Определим натяжение НТ при беспроводном положении контактного провода T_0 . Температура в данном режиме может быть найдена по формуле

$$t_0 = t_{\text{cp}} - t', \quad (1.30)$$

где t_{cp} – значение, определяемое как среднее арифметическое между максимальной и минимальной температурой района, °С;
 t' – поправка температуры, обусловленная подъемом токоприемником контактной подвески, $t' = 15 - 20$ °С.

$$t_0 = \frac{-50 + 40}{2} - (15 \div 20) = -20 \text{ °С.}$$

Натяжение T_0 может быть найдено из выражения

$$t_0 = A_1 + \frac{B_0}{T_0^2} - \frac{T_0}{\alpha_{\text{н}} \cdot E_{\text{н}} \cdot S_{\text{н}}}, \quad (1.31)$$

$$\text{где } A_1 = t_1 - \frac{q_1^2 \cdot L_3^2}{24 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot T_{\text{max}}^2} + \frac{T_{\text{max}}}{\alpha_{\text{н}} \cdot E_{\text{н}} \cdot S_{\text{н}}}, \quad (1.32)$$

$$B_0 = \frac{q_0^2 \cdot L_3^2}{24 \cdot \alpha_{\text{н}}}. \quad (1.33)$$

В приведенных формулах значения с индексом 1 соответствуют расчетному режиму, а с индексом 0 – текущему режиму.

Согласно [6], для троса М-120 значения модуля упругости и площади сечения соответственно равны $E_{\text{н}} = 12,75 \cdot 10^{11}$ Па, $S_{\text{н}} = 1,17 \cdot 10^{-4}$ м².

Пусть натяжение $T_0 = 14993$ Н. Проверим равенство формулы (1.31) температуре беспроводного положения t_0

$$A_1 = -50 - \frac{29,932^2 \cdot 54,0^2}{241,7 \cdot 10^{-5} \cdot 19600^2} + \frac{19600}{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 12,75 \cdot 10^{11} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}} = 10,604 \text{ °С,}$$

$$B_0 = \frac{29,932^2 \cdot 54,0^2}{241,7 \cdot 10^{-5}} = 6,41 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{°С}$$

$$t_0 = 10,604 + \frac{6,41 \cdot 10^9}{14993^2} - \frac{14993}{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 12,75 \cdot 10^{11} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}} = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Равенство выполняется, значит натяжение определено правильно и составит $T_0 = 14993 \text{ Н}$.

1.6.3 Расчет натяжений и стрел провеса проводов при ненагруженном несущем тросе

В указанном режиме связь величин определяется формулой

$$t_x = A_0 + \frac{B_p}{T_{px}^2} - \frac{T_{px}}{\alpha_n \cdot E_n \cdot S_n}, \quad (1.34)$$

где A_0 – расчетный коэффициент исходного режима, формула (1.35);
 B_p – расчетный коэффициент расчетного режима, формула (1.36).

$$A_0 = t_0 - \frac{g_0^2 \cdot L_3^2}{24 \cdot \alpha_n \cdot T_0^2} + \frac{T_0}{\alpha_n \cdot E_n \cdot S_n}, \quad (1.35)$$

$$B_p = \frac{q_n^2 \cdot L_3^2}{24 \cdot \alpha_n}, \quad (1.36)$$

где q_n – линейная нагрузка от веса НТ, Н/м.

Пусть натяжение ненагруженного НТ равно $T_p = 16135 \text{ Н}$. Проверим равенство формулы (1.34) температуре -50°C (крайней точки интервала температур):

$$A_0 = -20 - \frac{29,932^2 \cdot 54,0^2}{24 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 14993^2} + \frac{14993}{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 12,75 \cdot 10^{11} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}} = 10,604 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$B_p = \frac{10,471^2 \cdot 54,0^2}{24 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5}} = 0,78 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot ^\circ\text{C},$$

$$t_p = 10,604 + \frac{0,78 \cdot 10^9}{16135^2} - \frac{16135}{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 12,75 \cdot 10^{11} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}} = -50 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Равенство выполняется, значит $T_p = 16135 \text{ Н}$ и есть натяжение разгруженного несущего троса при температуре -50°C . Уменьшая значения T_p , определяем заданные значения температур.

Стрелы провеса ненагруженного НТ при температуре x и длине пролета L_i находятся по формуле

$$F_{\text{pxi}} = \frac{g_{\text{н}} \cdot L_i^2}{8 \cdot T_{\text{px}}} \quad (1.37)$$

Так для пролета длиной 65 м при натяжении $T_p = 16135$ Н

$$F_{\text{p65}} = \frac{10,471 \cdot 65^2}{8 \cdot 16135} = 0,343 \text{ м.}$$

Аналогично рассчитываются стрелы провеса для пролетов 60, 50 и 40 м. При изменении значения T_p вычисления по формуле (1.37) повторяются. Полученные значения F_p , по которым строятся монтажные кривые, приведенные в приложении А, заносим в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Результаты механического расчета для разгруженного несущего троса

Температура	Натяжение	Стрелы провеса несущего троса F , м при длинах пролетов L , м			
		$L = 65$ м	$L = 60$ м	$L = 50$ м	$L = 40$ м
$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{Н}$	$F_1, \text{м}$	$F_2, \text{м}$	$F_3, \text{м}$	$F_4, \text{м}$
-50	16135	0,343	0,292	0,203	0,130
-40	13869	0,399	0,340	0,236	0,151
-30	11742	0,471	0,401	0,279	0,178
-20	9824	0,563	0,480	0,333	0,213
-10	8191	0,675	0,575	0,399	0,256
0	6886	0,803	0,684	0,475	0,304
10	5890	0,939	0,800	0,556	0,356
20	5142	1,075	0,916	0,636	0,407
30	4577	1,208	1,029	0,715	0,458
40	4142	1,335	1,138	0,790	0,506

1.6.4 Расчет нагруженного несущего троса при двойном контактом проводе

В указанном режиме связь величин определяется формулой

$$t_x = A_0 + \frac{B_x}{T_x^2} - \frac{T_x}{\alpha_{\text{н}} \cdot E_{\text{н}} \cdot S_{\text{н}}}, \quad (1.38)$$

где B_x – величина, которая может быть найдена по формуле (1.39).

$$B_x = \frac{q_x^2 \cdot L_5^2}{24 \cdot \alpha_n}. \quad (1.39)$$

Значение q_x соответствует полной нагрузке на НТ в искомом режиме: при расчете без дополнительной нагрузки принимается нагрузка g , при расчете натяжение в режиме «гололед с ветром» – $q_{ГН}$, при расчете натяжения в режиме «максимальный ветер» – q_H .

Пусть натяжение НТ равно $T_{2КП} = 19600$ Н. Тогда при температуре -50°C

$$B_{2КП} = \frac{29,932^2 \cdot 54,0^2}{241,7 \cdot 10^{-5}} = 6,41 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot ^\circ\text{C},$$

$$t_p = 10,604 + \frac{6,41 \cdot 10^9}{19600^2} - \frac{19600}{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 12,75 \cdot 10^{11} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}} = -50 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Следовательно, действительно в нашем случае $T_{2КП} = 19600$ Н и есть натяжение нагруженного несущего троса при температуре $-50 \text{ } ^\circ\text{C}$. Таким образом подтверждается правильность выбора расчетного режима «минимальная температура». Уменьшая значения $T_{2КП}$, определяем заданные значения температур. Полученные значения $T_{2КП}$, по которым строится монтажная кривая, приведенная в приложении А, заносим в таблицу 1.5.

Определим натяжение несущего троса в режиме «ветер максимальной интенсивности». Примем, что натяжение НТ в этом режиме составляет $T_B = 13248$ Н. Тогда при температуре -5°C

$$B_B = \frac{29,977^2 \cdot 54,0^2}{241,7 \cdot 10^{-5}} = 6,43 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot ^\circ\text{C},$$

$$t_B = 10,604 + \frac{6,43 \cdot 10^9}{13248^2} - \frac{13248}{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 12,75 \cdot 10^{11} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}} = -5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Значит, действительно $T_B = 13248$ Н в нашем случае натяжение НТ в режиме «максимальный ветер».

Определим натяжение несущего троса в режиме «гололед с ветром». Примем, что натяжение НТ в этом режиме $T_r = 15345$ Н. Тогда при температуре -5°C

$$B_r = \frac{38,442^2 \cdot 54,0^2}{241,7 \cdot 10^{-5}} = 10,57 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot ^\circ\text{C},$$

$$t_{\Gamma} = 10,604 + \frac{10,57 \cdot 10^9}{15345^2} - \frac{15345}{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 12,75 \cdot 10^{11} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

Значит, действительно $T_{\Gamma} = 15345$ Н в нашем случае натяжение нагруженного НТ в режиме «гололед с ветром».

Стрелы провеса F_{xi} в пролете L_i могут быть найдены по выражению

$$F_{xi} = \frac{W_{xi} \cdot L_i^2}{8 \cdot Z_{xi}}, \quad (1.40)$$

где W_{xi} – приведенная нагрузка, Н/м, определяемая по формуле (1.41);
 Z_{xi} – приведенное натяжение, Н, определяемое по формуле (1.42).

$$W_{xi} = g \cdot \left(1 + \frac{\varphi_{xi} \cdot K}{T_0} \right); \quad (1.41)$$

$$Z_{xi} = T_x + \varphi_{xi} \cdot K, \quad (1.42)$$

где φ_{xi} – конструктивный коэффициент, определяется по формуле (1.43)

$$\varphi_{xi} = \frac{\lambda_i}{1 + \frac{(1 - \lambda_i) \cdot K}{T_x}}, \quad (1.43)$$

где λ_i – относительное удлинение, м, определяется по формуле (1.44).

$$\lambda_i = \frac{(L_i - 2 \cdot c_i)^2}{L_i^2} \quad (1.44)$$

Найдем стрелу провеса несущего троса для пролета длиной 65 м при натяжении троса $T_{2кп} = 19600$ Н по формулам (1.40) – (1.44)

$$\lambda_{65} = \frac{(65 - 2 \cdot 10)^2}{65^2} = 0,48,$$

$$\varphi_{x65} = \frac{0,48}{1 + (1 - 0,48) \cdot \frac{21000}{19600}} = 0,308,$$

$$Z_{65} = 19600 + 0,308 \cdot 21000 = 26061 \text{ Н},$$

$$W_{65} = 29,932 \cdot \left(1 + \frac{0,308 \cdot 21000}{14993} \right) = 42,83 \text{ Н/м},$$

$$F_{2\text{КП}65} = \frac{42,83 \cdot 65^2}{8 \cdot 26061} = 0,868 \text{ м.}$$

Аналогично рассчитываются стрелы провеса для пролетов 60, 50 и 40 м. При изменении значения $T_{2\text{КП}}$ вычисления по формулам (1.40) – (1.44) повторяются.

Стрелы провеса контактного провода для реальных пролетов определяются по формулам

$$F_{0i} = \frac{g \cdot L_i^2}{8 \cdot T_0}; \quad (1.45)$$

$$f_{xi} = \varphi_{xi} (F_{xi} - F_{0i}). \quad (1.46)$$

Найдем стрелу провеса контактного провода для пролета длиной 65 м при натяжении троса $T_{2\text{КП}} = 19600 \text{ Н}$

$$F_{065} = \frac{29,932 \cdot 65^2}{8 \cdot 14993} = 1,054 \text{ м,}$$

$$f_{2\text{КП}65} = 0,308 \cdot (0,868 - 1,054) = -0,057 \text{ м.}$$

Аналогично рассчитываются стрелы провеса для пролетов 60, 50 и 40 м. При изменении значения $T_{2\text{КП}}$ вычисления по формулам (1.45) и (1.46) повторяются. Полученные значения F_{xi} и f_{xi} , по которым строятся монтажные кривые, приведенные в приложении А, заносим в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 – Результаты механического расчета для нагруженного несущего троса при двойном контактном проводе

Температура	Натяжение	Стрелы провеса несущего троса F и контактного провода f при заданных длинах пролетов							
		$L = 65 \text{ м}$		$L = 60 \text{ м}$		$L = 50 \text{ м}$		$L = 40 \text{ м}$	
$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{ Н}$	$F_1, \text{ м}$	$f_1, \text{ м}$	$F_2, \text{ м}$	$f_2, \text{ м}$	$F_3, \text{ м}$	$f_3, \text{ м}$	$F_4, \text{ м}$	$f_4, \text{ м}$
-50	19600	0,868	-0,057	0,736	-0,045	0,505	-0,025	0,318	-0,011
-40	17905	0,927	-0,038	0,787	-0,030	0,542	-0,017	0,343	-0,007
-30	16367	0,990	-0,019	0,842	-0,015	0,582	-0,008	0,370	-0,004
-20	14993	1,054	0,000	0,898	0,000	0,624	0,000	0,399	0,000
-10	13783	1,120	0,018	0,956	0,014	0,667	0,008	0,429	0,003
0	12727	1,186	0,034	1,014	0,027	0,710	0,015	0,459	0,007
10	11810	1,251	0,049	1,072	0,039	0,753	0,022	0,490	0,010
20	11015	1,315	0,063	1,128	0,050	0,796	0,028	0,520	0,012
30	10326	1,378	0,075	1,183	0,059	0,838	0,033	0,550	0,015
40	9727	1,438	0,087	1,237	0,068	0,879	0,038	0,579	0,017

1.6.5 Расчет несущего троса при нагружении его одним контактным проводом

В указанном режиме связь величин определяется формулой

$$t_x = A_{02} + \frac{B_{x1}}{T_{x1}^2} - \frac{T_x}{\alpha_H \cdot E_H \cdot S_H}, \quad (1.47)$$

где A_{02} – расчетный коэффициент исходного режима, формула (1.48);
 B_{x1} – расчетный коэффициент расчетного режима, формула (1.49).

$$A_{02} = t_{02} - \frac{g_{02}^2 \cdot L_0^2}{24 \cdot \alpha_H \cdot T_{02}^2} + \frac{T_{02}}{\alpha_H \cdot E_H \cdot S_H}; \quad (1.48)$$

$$B_{x1} = \frac{g_{x1}^2 \cdot L_0^2}{24 \cdot \alpha_H}. \quad (1.49)$$

В приведенных выше формулах индекс 02 соответствует режиму беспровесного положения двух контактных проводов. Индекс x1 соответствует режиму при одном контактном проводе. Величина A_{02} при этом равна $A_0 = A_1$.

Вес подвески для одного контактного провода ($n_k = 1$) рассчитывается по формуле (1.1)

$$g_{01} = 10,471 + (8,731 + 1) = 20,201 \text{ Н/м.}$$

Пусть натяжение нагруженного несущего троса равно $T_{1кп} = 17727$ Н. Проверим равенство формулы (1.47) температуре -50 °С (крайней точки интервала температур)

$$B_{1кп} = \frac{20,201^2 \cdot 54,0^2}{24 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5}} = 2,92 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{°С},$$

$$t_{1кп} = 10,604 + \frac{2,92 \cdot 10^9}{17727^2} - \frac{17727}{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 12,75 \cdot 10^{11} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}} = -50 \text{ °С.}$$

Значит, действительно $T_{1кп} = 17727$ Н – натяжение НТ при температуре -50 °С. Полученные значения $T_{1кп}$, по которым строится монтажная кривая на листе 4 графической части, заносим в таблицу 1.6.

Температура t_0 определяется по формуле (1.30) в которой приведенное выше значение $t' = 20 - 25$ °С

$$t_0 = \frac{-50 + 40}{2} - (20 \div 25) = -25 \text{ °С}$$

Пусть натяжение при данной температуре по формуле равно $T_{\text{ИКП}0} = 13249$ Н. Проверим равенство формулы (1.47)

$$t_{\text{ИКП}} = 10,604 + \frac{2,92 \cdot 10^9}{13249^2} - \frac{13249}{1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 12,75 \cdot 10^{11} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}} = -25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Равенство выполняется, значит $T_{\text{ИКП}0} = 13249$ Н и есть натяжение нагруженного несущего троса в режиме беспровесного положения.

Найдем стрелу провеса несущего троса для пролета длиной 70 м при натяжении троса $T_{\text{ИКП}} = 17727$ Н по формулам (1.40) – (1.44)

$$\lambda_{65} = \frac{(65 - 2 \cdot 10)^2}{65^2} = 0,48,$$

$$\varphi_{\text{ИКП} \cdot x_{65}} = \frac{0,48}{1 + (1 - 0,48) \cdot \frac{10500}{17727}} = 0,366,$$

$$Z_{\text{ИКП}65} = 17727 + 0,366 \cdot 10500 = 21573 \text{ Н},$$

$$W_{\text{ИКП}65} = 20,201 \cdot \left(1 + \frac{0,366 \cdot 10500}{13249} \right) = 26,15 \text{ Н/м},$$

$$F_{\text{ИКП}65} = \frac{26,15 \cdot 65^2}{8 \cdot 21573} = 0,640 \text{ м}.$$

Аналогично рассчитываются стрелы провеса для пролетов 60, 50 и 40 м. При изменении значения $T_{\text{ИКП}}$ вычисления по формулам (1.40) – (1.44) повторяются.

Стрелы провеса контактного провода для реальных пролетов определяются по формулам (1.45) и (1.46). Найдем стрелу провеса контактного провода для пролета длиной 65 м при натяжении троса $T_{\text{ИКП}} = 17727$ Н

$$F_{\text{ИКП}065} = \frac{20,201 \cdot 65^2}{8 \cdot 13249} = 0,808 \text{ м},$$

$$f_{\text{ИКП}65} = 0,366 \cdot (0,640 - 0,808) = -0,061 \text{ м}.$$

Аналогично рассчитываются стрелы провеса для пролетов 60, 50 и 40 м. При изменении значения $T_{\text{ИКП}}$ вычисления по формулам (1.45) и (1.46) повторяются. Полученные значения F_{xi} и f_{xi} , по которым строятся монтажные кривые, приведенные в приложении А, заносим в таблицу 1.6.

Таблица 1.6 – Результаты механического расчета для нагруженного несущего троса при одиночном контактном проходе

Температура	Натяжение	Стрелы провеса несущего троса F , м и контактного провода f , м при заданных длинах пролетов							
		$L = 65$ м		$L = 60$ м		$L = 50$ м		$L = 40$ м	
$t, ^\circ\text{C}$	T, H	$F_1, \text{м}$	$f_1, \text{м}$	$F_2, \text{м}$	$f_2, \text{м}$	$F_3, \text{м}$	$f_3, \text{м}$	$F_4, \text{м}$	$f_4, \text{м}$
-50	17727	0,640	-0,061	0,543	-0,049	0,373	-0,027	0,236	-0,012
-40	15801	0,702	-0,038	0,597	-0,030	0,412	-0,017	0,261	-0,007
-30	14050	0,771	-0,013	0,657	-0,010	0,455	-0,006	0,290	-0,002
-20	12501	0,846	0,013	0,721	0,010	0,502	0,006	0,322	0,002
-10	11166	0,924	0,037	0,789	0,029	0,552	0,017	0,356	0,007
0	10038	1,003	0,061	0,859	0,048	0,603	0,027	0,391	0,012
10	9099	1,082	0,082	0,928	0,065	0,654	0,036	0,427	0,016
20	8319	1,159	0,101	0,995	0,080	0,704	0,045	0,462	0,020
30	7670	1,233	0,119	1,061	0,094	0,753	0,053	0,496	0,023
40	7126	1,304	0,135	1,123	0,106	0,801	0,060	0,530	0,027

1.7 Выбор способа прохода подвески в искусственном сооружении

Проход контактной подвески под искусственными сооружениями, ширина которых не более межструнового расстояния (2-12 м), в том числе под пешеходными мостами, может быть осуществлен по одному из трех случаев:

- использование искусственного сооружения в качестве опоры;
- пропуск подвески без крепления к искусственному сооружению;
- анкеровка несущего троса на искусственное сооружение.

Для выбора одного из этих способов необходимо выполнение соответствующего условия:

- для первого случая

$$h > h_{kmin} + f_{max} + e_{min} + F_{max} + h_n, \quad (1.50)$$

- для второго случая при наличии отбойников

$$h > h_{kmin} + f_{max} + e_{min} + F_{max} - F_{min} + y_{min} + h_{от}, \quad (1.51)$$

- для третьего случая

$$h > h_{kmin} + f_{max} + u + h_{min}, \quad (1.52)$$

где h – высота низа пролетного строения пешеходного моста над

- уровнем головки рельса, в нашем случае составляет 7,8 м;
- $h_{\text{кmin}}$ – минимальная допустимая высота контактных проводов над уровнем головок рельсов, равна 5,75 м;
- f_{max} – максимальная стрела провеса контактных проводов в пролете под мостом, определена ранее, равна 0,087 м;
- e_{min} – минимальная длина струны в середине пролета;
- F_{max} – максимальная стрела провеса НТ в пролете под мостом, определена ранее, равна 1,438 м;
- F_{min} – минимальная стрела провеса НТ в пролете под мостом, определена ранее, равна 0,868 м;
- $h_{\text{и}}$ – длина узла подвеса, размещаемого на мосту для крепления подвески, составляет 0,560 м;
- y_{tmin} – величина, указанная на расчетной схеме (см. П.Б);
- $h_{\text{от}}$ – минимальное расстояние между отбойником несущего троса и низом пролетного строения;
- u – разрешенное расстояние между НТ и отбойником.
- Значение e_{min} определим по формуле

$$e_{\text{min}} = h_0 - F_{065}, \quad (1.53)$$

- где h_0 – конструктивная высота подвески, $h_0 = 2$ м;
- F_{065} – стрела провеса НТ для пролета под мостом при беспровесном положении контактного провода, значение формулы (1.38).

$$e_{\text{min}} = 2 - 1,054 = 0,946 \text{ м.}$$

По формуле (1.51) проверим выполнение условия использования искусственного сооружения в качестве опоры

$$7,8 \text{ м} > 8,78 \text{ м} = 5,75 + 0,09 + 0,95 + 1,44 + 0,56 - \text{неверно.}$$

Поскольку данное неравенство не выполняется, использование моста в качестве опоры невозможно.

Значение y_{tmin} определим по формуле

$$y_{\text{tmin}} = \frac{W_{\text{min}} \cdot X^2}{2 \cdot Z_{\text{min}}}, \quad (1.54)$$

- где X – половина ширины моста, принимаем $X = 2$.
- Значения W_{min} и Z_{min} были определены ранее, тогда

$$y_{\text{tmin}} = \frac{42,83 \cdot 2^2}{2 \cdot 26061} = 0,003 \text{ м.}$$

По формуле (1.52) проверим выполнение условия прохода без крепления к мосту при установке отбойников НТ с учетом, что мост расположен в середине пролета

$$7,8 \text{ м} > 7,51 \text{ м} = 5,75 + 0,09 + 0,95 + 1,44 - 0,87 + 0,004 + 0,15 \text{ – верно.}$$

Таким образом, неравенство выполняется, следовательно, данный способ применим для прохода подвески под мостом. Так как данный способ наиболее удобен при эксплуатации и ремонте моста, его принимаем к реализации. Схема прохода приведена на рисунке Б.1.

1.8 Подбор стоек опор контактной сети

1.8.1 Составление схемы загрузки опоры

Для расчета и выбора опор составляется схема загрузки опоры, на которой указываются все нагрузки: вертикальные и горизонтальные. Расчетная схема для подбора опор приведена на рисунке В.1.

1.8.2 Определение нагрузок и величины внешних сил при различных расчетных режимах

Для расчета выбираем консольную опору перегона, расположенную на прямой (опора 82). Нагрузки от веса усиливающего провода и линии продольного электроснабжения в режимах максимального ветра и гололеда с ветром определяются с помощью формул (1.2) и (1.3), где для усиливающего провода А-185 в соответствии с [2] площадь поперечного сечения $S_{\text{пр}} = 1,83 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотность материала $\gamma_{\text{пр}} = 2750 \text{ кг/м}^3$, конструктивный коэффициент для многопроволочного провода $k_{\text{н}} = 1,025$

$$g_{\text{пр}} = 9,81 \cdot 1,025 \cdot 0,000183 \cdot 2750 = 5,061 \text{ Н/м,}$$

$$g_{\text{гпр}} = \frac{27,7 \cdot 11 \cdot (17,5 + 11)}{1000} = 8,684 \text{ Н/м.}$$

Ветровые нагрузки на усиливающие провода в расчетных режимах определяются по формулам (1.7) и (1.8):

$$p_{\text{пр}} = 0,615 \cdot 1,25 \cdot 17,5 \cdot 22,66^2 = 6,908 \text{ Н/м,}$$

$$p_{\text{гпр}} = 0,615 \cdot 1,25 \cdot (17,5 + 2 \cdot 11) \cdot 13,596^2 = 5,613 \text{ Н/м.}$$

Вертикальная нагрузка от веса контактной подвески для расчетного режима определяется по формуле

$$G_{\text{ш}} = g_i \cdot L + G_{\text{и}} + G'_{\text{ф}}, \quad (1.55)$$

где g_j – линейная нагрузка от контактной подвески в режиме i , Н/м;
 L – среднее арифметическое между длинами пролетов слева и справа от опоры, $L = (65+65) = 65$ м;
 $G_{\text{и}}$ – нагрузка от веса узла подвеса, 150Н;
 $G'_{\text{ф}}$ – нагрузка от веса узла фиксации подвески, $G'_{\text{ф}} = 100$ Н.

Тогда при $g = 29,932$ Н/м, $g_r = 42,975$ Н/м (см. таблицу 1.2) вертикальные нагрузки равны

$$G_{\text{ш}} = 42,975 \cdot 65 + 150 + 100 = 3043,4 \text{ Н/м},$$

$$G_{\text{пв}} = 29,932 \cdot 65 + 150 + 100 = 2195,6 \text{ Н/м}.$$

Вертикальная нагрузка от веса усиливающего провода для j -го расчетного режима определяется по формуле

$$G_{\text{пр}j} = g_{\text{пр}j} \cdot L + G_{\text{и}}, \quad (1.56)$$

$$G_{\text{прг}} = 2 \cdot ((8,684 + 5,061) \cdot 65) + 150 = 1936,8 \text{ Н/м},$$

$$G_{\text{прв}} = 2 \cdot 5,061 \cdot 65 + 150 = 807,9 \text{ Н/м}.$$

Вертикальные нагрузки от веса консоли и кронштейна находятся по формулам

$$G_{\text{кш}j} = m_{\text{кш}j} \cdot g, \quad (1.57)$$

$$G_{\text{кр}j} = m_{\text{кр}j} \cdot g, \quad (1.58)$$

$$G_{\text{кшг}} = 9,81 \cdot 76 = 744,8 \text{ Н},$$

$$G_{\text{кшв}} = 9,8 \cdot 70 = 676,2 \text{ Н},$$

$$G_{\text{крг}} = 9,81 \cdot 25 = 245,3 \text{ Н},$$

$$G_{\text{крв}} = 9,8 \cdot 20 = 215,8 \text{ Н}.$$

Нагрузки на стойку, создаваемые при действии ветра на провода подвески могут быть найдены по формуле

$$P_j^i = p_j^i \cdot L, \quad (1.59)$$

где p_j^i – линейная нагрузка от действия ветра, индекс i определяет провод, индекс j режим нагрузки, Н/м;
 i – тип провода, для которого выполняется расчет ($n, k, un, nэ$ – соответственно несущий трос, контактный провод, усиливающий провод, провод линии ПЭ).

В расчетном режиме «гололед с ветром» нагрузки составят

$$P_{\Gamma}^H = 5,116 \cdot 65 = 332,5 \text{ Н},$$

$$P_{\Gamma}^K = 4,018 \cdot 65 = 261,1 \text{ Н},$$

$$P_{\Gamma}^{np} = 2,5,613 \cdot 65 = 729,7 \text{ Н}.$$

В расчетном режиме «максимальный ветер» нагрузки составят

$$P_B^H = 5,526 \cdot 65 = 359,2 \text{ Н},$$

$$P_B^K = 5,776 \cdot 65 = 375,4 \text{ Н},$$

$$P_B^{np} = 2,6,908 \cdot 65 = 898 \text{ Н}.$$

Изгиб контактных проводов при выполнении зигзага создает дополнительную горизонтальную нагрузку, величина которой может быть определена по формуле

$$P_3 = \frac{K \cdot 4 \cdot a}{L}, \quad (1.60)$$

где a – зигзаг контактного провода, $a = 0,3$ м.

Тогда

$$P_{3r} = P_{3в} = \frac{19600 \cdot 4 \cdot 0,3}{65} = 387,7 \text{ Н}.$$

Нагрузка от воздействия ветра на стойку может быть найдена по формуле

$$P_{оп}^j = 0,615 \cdot C_x \cdot V_p^2 \cdot S_{оп}, \quad (1.61)$$

где C_x – коэффициент, характеризующий аэродинамические свойства конструкции стойки, в нашем случае составляет 1,4;
 V_p – расчетная скорость ветра, м/с;
 $S_{оп}$ – площадь, на которую оказывает действие ветер, в нашем случае – площадь сплошной поверхности опоры поперек пути;

$$S_{оп} = h_{оп} \cdot b, \quad (1.62)$$

где $h_{оп}$ – длина стойки, м;
 b – ширина стойки по направлению пути, м.

Согласно [6] принимаем $h_{оп} = 10$ м, $b = 0,22$ м. Проведем расчет горизонтальных нагрузок от давления ветра на опору в режимах гололеда с ветром и максимального ветра

$$S_{оп} = 10 \cdot 0,22 = 2,2 \text{ м}^2,$$

$$P_{оп}^Г = 0,615 \cdot 0,7 \cdot 2,2 \cdot 13,596^2 = 175,1 \text{ Н},$$

$$P_{оп}^В = 0,615 \cdot 0,7 \cdot 2,2 \cdot 22,66^2 = 486,3 \text{ Н}.$$

Результаты расчетов приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Расчетные нагрузки на опору контактной сети

Нагрузки	Значения нагрузок на опору для режима, Н	
	гололед с ветром	максимальный ветер
$G_{п}$	3043,4	2195,6
$G_{кн}$	744,8	676,2
$G_{пр}$	1936,8	807,9
$G_{кр}$	245,3	215,8
$P_{в}^H$	332,5	359,2
$P_{в}^K$	261,1	375,4
$P_{в}^{пр}$	729,7	898,0
$P_{из}^H$	0,0	0,0
$P_{из}^K$	387,7	387,7
$P_{из}^{пр}$	0,0	0,0
$P_{оп}$	175,1	486,3

1.8.3 Расчет изгибающего момента на стойку с выбором типа стойки

Полный изгибающий момент от всех нагрузок на стойку может быть определен по формуле

$$M_{0j} = n_{\text{п}} \cdot G_{\text{лж}} \cdot Z_{\text{п}} + n_{\text{кн}} \cdot G_{\text{кн}} \cdot Z_{\text{кн}} - n_{\text{пр}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot Z_{\text{пр}} - n_{\text{кр}} \cdot G_{\text{кр}} \cdot Z_{\text{кр}} + \quad (1.63) \\ + h_{\text{н}} \cdot (\pm P_{\text{вж}}^{\text{н}} \pm P_{\text{изж}}^{\text{н}}) + h_{\text{к}} \cdot (\pm P_{\text{вж}}^{\text{к}} \pm P_{\text{изж}}^{\text{к}}) + h_{\text{пр}} \cdot (\pm P_{\text{вж}}^{\text{пр}} \pm P_{\text{изж}}^{\text{пр}}) + 0,5 \cdot h_{\text{оп}} \cdot P_{\text{опj}},$$

где Z , h – горизонтальное и вертикальное плечо действия нагрузки, приведено на расчетной схеме В.1 и в таблице 1.8.

Расчет суммарного изгибающего момента произведем для промежуточной опоры на прямой. Выбор опоры производится из условия

$$M_{\text{о}} < M_{\text{н}}, \quad (1.64)$$

где $M_{\text{н}}$ – нормативный момент выбранного типа опоры [6], Н·м.

При направлении действия ветра с поля наблюдаются максимальные суммарные моменты. По формуле (1.63) найдем значения максимальных суммарных изгибающих моментов от внешних сил при расчетных режимах. Положительное направление действие нагрузки принимаем в сторону «пути», отрицательное – в сторону «поля». Значение большего момента сравним с нормативным моментом по формуле (1.64).

Режим ветра с гололедом

$$M_{\text{ор}} = 3043,4 \cdot 3,3 + 744,8 \cdot 1,8 - 1936,8 \cdot 1,2 - 245,25 \cdot 0,7 + 9 \cdot (332,5 + 0) + \\ + 7 \cdot (261,1 + 387,7) + 8,8 \cdot (729,7 + 0) + 0,5 \cdot 9,6 \cdot 175,1 = 23684 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Режим максимального ветра

$$M_{\text{ор}} = 2195,6 \cdot 3,3 + 676,2 \cdot 1,8 - 807,9 \cdot 1,2 - 215,82 \cdot 0,7 + 9 \cdot (359,2 + 0) + \\ + 7 \cdot (375,4 + 387,7) + 8,8 \cdot (898 + 0) + 0,5 \cdot 9,6 \cdot 486,3 = 26153,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Тогда

$$M_{\text{ов}} = 37977 \text{ Н}\cdot\text{м} \leq 59000 \text{ Н}\cdot\text{м} - \text{верно.}$$

На основании выполненных расчетов для промежуточной опоры перегона принимаем стойку МКГ 10-60. Нормативный момент данной стойки (59 кН) больше, чем расчетный изгибающий момент, следовательно, данная стойка выдержит оказываемую на нее нагрузку. Для остальных участков пути принимаем без расчета: для промежуточных опор станции и перегона – МКГ 10-60, для переходных опор сопряжений, опор в кривых – опоры МКГ 10-80, для анкерных опор и опор жестких поперечин – МКГА 10-100.

2 Исследование износа контактных проводов на участках постоянного тока

2.1 Актуальность проблемы износа контактных проводов и проблемы измерения износа

Передача электроэнергии подвижному составу осуществляется от тяговых подстанций через контактную сеть. Существуют различные методы токосъема, в том числе и бесконтактные, однако наиболее приемлемым по обеспечению качества, экономически целесообразным, а, следовательно и наиболее распространенным в настоящий момент является контактный метод токосъема путем скольжения токоприемника подвижного состава по нижней поверхности контактного провода (или проводов).

Ввиду необходимости обеспечения надежного электрического контакта, большой величины отводимого тока (особенно на участках постоянного тока) возникают существенные ограничения в использовании смазочных материалов между токоприемником и контактными проводами. Это приводит к неизбежному износу обоих элементов контактной пары. Скорость изнашивания можно уменьшить за счет подбора оптимального сочетания материала контактных пластин токоприемника и контактных проводов, однако полностью избавиться от износа невозможно.

Изношенные пластины токоприемника подвижного состава могут быть заменены на новые при проведении технического обслуживания. Данная операция, хотя она и требует вывода локомотива в ремонт, не занимает много времени и достаточно проста по технологии. Поэтому последствия износа пластин легко устранимы, чего нельзя сказать о износе контактных проводов.

При износе контактных проводов происходит истирание токоприемником их нижней поверхности (см. рисунок 2.1).

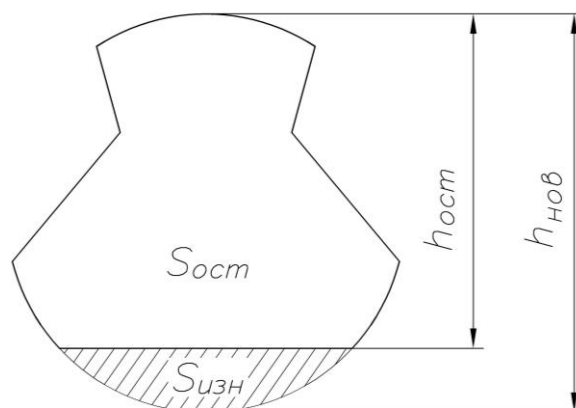


Рисунок 2.1 – Изнашивание контактного провода

При этом происходит уменьшение площади сечения контактных проводов. В эксплуатации при достижении определенных величин износа выполняют регулировку натяжения проводов путем уменьшения количества грузов компенсатора. В этом случае натяжение провода также уменьшается.

Анализируя описанную выше технологию можно обратить внимание на следующие негативные моменты:

- в процессе износа провода до момента уменьшения его натяжения возрастает механическое напряжение в материале провода, а, следовательно, возрастает вероятность его обрыва; кроме того, натяжение должно уменьшаться, когда износ достигнет определенной величины в любой точке анкерного участка, что достаточно сложно отследить, а это дополнительно увеличивает вероятность несвоевременного обнаружения точки максимального износа и обрыва провода;
- уменьшение натяжения контактных проводов приводит к изменению характеристик токосъема (увеличение стрел провеса контактных проводов, изменение траектории движения токоприемника и появление зон его отрыва от контактного провода), что в большинстве случаев ускоряет дальнейший износ.

Наихудшим развитием событий при отсутствии контроля износа на должном уровне является обрыв контактного провода. При этом наиболее часто в месте разрыва провода происходит обрыв струн и падение контактного провода (находящегося в этот момент под напряжением) на путь. Если такое повреждение произошло в момент, когда в месте обрыва находился подвижной состав, падение провода может вызвать короткое замыкание на кузов электровоза. В самых неблагоприятных обстоятельствах это может привести к возгоранию подвижного состава, причинению ущерба организации и возникновению опасности для людей, находящихся вблизи места повреждения. Однако даже в случае, если в месте повреждения подвижного состава не оказалось, обрыв также представляет собой опасность. Если падение провода произошло не на рельс, то ток замыкания может не достичь величины, достаточной для отключения защиты на подстанции. В этом случае замыкание не будет отключено, а находящийся под напряжением провод также будет создавать опасность поражения электрическим током или опасность возникновения пожара.

Для оценки степени износа контактных проводов периодически необходимо производить его измерение. Целью измерения износа является своевременное определение «слабых мест» – участков наибольшего износа, так как именно они определяют момент уменьшения натяжения. Контактная подвеска является территориально распределенным объектом, протяженность ее между станциями на постоянном токе может составлять более 20 км. Обрыв в любой точке на этом участке приведет к перерыву в движении поездов, поэтому контроль и измерение износа должно осуществляться на всем протяжении перегона. В связи с этим возникает проблема выполнения большого количества измерений в приемлемое время, а также обеспечение достаточной точности измерений.

Таким образом, при решении проблемы изнашивания контактных проводов и контроля износа необходимо учитывать следующее:

- износ контактных проводов необходимо контролировать в большом количестве точек, распределенных на значительном расстоянии;
- измерение износа контактных проводов необходимо выполнять методом, обеспечивающим высокую точность и скорость измерений; при этом необходимо минимизировать влияние такой работы на движение поездов;
- контроль износа необходимо осуществлять с периодичностью, достаточной для оперативного определения мест с опасным износом и своевременно выполнять уменьшение натяжения контактных проводов.

2.2 Специфика процесса износа контактных проводов

Изнашивание элементов скользящего контакта — сложный электромеханический процесс. Для удобства изучения износ разделяют на электрический и механический. Такое разделение весьма условно, поскольку электрические и механические явления в контакте взаимозависимы.

Электрический износ вызывается электрической эрозией металла, т.е. испарением и выбросом металла под воздействием искровых и дуговых разрядов. Он зависит не только от плотности снимаемого тока, но и от состояния контактирующих поверхностей, так как наличие «жестких» точек, вибрация провода, схватывание и задиры трущихся поверхностей нарушают стабильность контакта, вследствие чего возрастает электрическая эрозия.

Механический износ является следствием таких видов воздействия при трении, как абразивное, окислительное, усталостное и др., которые зависят не только от свойств материала контактного провода и токоъемных пластTM, но и от состояния их поверхностей. В свою очередь электрическая эрозия вызывает повреждение контактирующих поверхностей и тем самым приводит к возрастанию механического износа.

Износ контактного провода зависит главным образом от материала контактных пластин (вставок) токоприемников. Наибольший износ контактных проводов происходит при медных контактных пластинах, наименьший — при угольных вставках из порошковых и спеченных материалов. Износ провода в основном определяется значением тока, снимаемого токоприемником: с увеличением тока он значительно возрастает. Поэтому на двухпутных участках износ провода на подъемах значительно (иногда в несколько раз) превосходит износ провода на спусках; заметное повышение его наблюдается также в местах трогания и разгона ЭПС.

На однопутных участках при двухстороннем движении средний износ провода примерно на 30 % выше, чем на двухпутных при одностороннем движении, ввиду изменения характера механического износа.

Износ контактного провода в различных его точках — в струновом пролете, в пролете контактной подвески, в анкерном участке, на перегоне — неравномерен. На износ контактного провода значительно влияет наличие на нем различных сосредоточенных масс — фиксаторов, питающих зажимов

электрических соединителей, стыковых зажимов, средних анкеровок, а также резкое уменьшение эластичности подвески на сопряжениях анкерных участков и воздушных стрелках.

Особым видом является волнообразный износ контактного провода (рисунок 2.2). Волнообразный износ наблюдается в местах трогания и разгона ЭПС и на подъемах. Он характеризуется интенсивным электрическим износом и тяжелыми дуговыми повреждениями контактного провода на последовательно расположенных коротких участках (100—150 мм), разделенных еще более короткими (10—30 мм) участками с хорошо пришлифованной поверхностью.

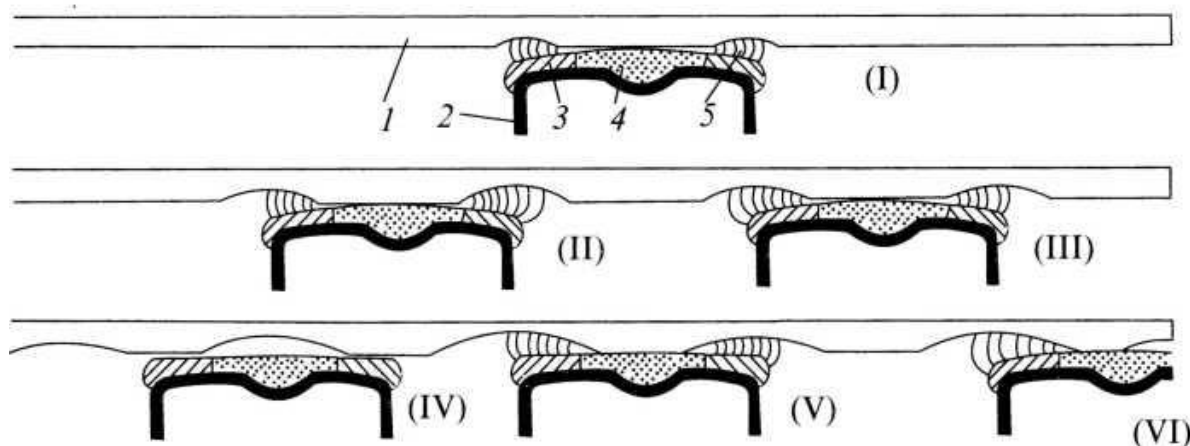


Рисунок 2.2 – Этапы возникновения и развития волнообразного износа контактного провода

1 — контактный провод; 2 — каркас полоза; 3 — медная (металлокерамическая) пластина; 4 — сухая графитовая смазка; 5 — электрическая дуга; I—VI — стадии развития волнообразного износа

Если с проводом соприкасаются не пластины, а слой плохо проводящей сухой графитовой смазки, то съем тока осуществляется через электрическую дугу, образуя первые две «волны» (I). Последующие проходы полозов расширяют зону волнового износа провода и усиливают его там, где он уже возник (II—VI).

После установки на полозы внутренних (средних) пластин волнообразный износ прекращается. Однако средний ряд пластин должен быть длинным (1 м), поскольку при коротких средних пластинах также возможен волнообразный износ (особенно в зоне фиксаторов). Кроме того, волнообразный износ неизбежно возникает в случае, если внутренние пластины утоплены по отношению к наружным и покрыты слоем сухой смазки, а также при избыточном нанесении этой смазки на полозы.

Таким образом, чтобы избежать волнообразного износа контактного провода, удлиняют среднюю пластину, устанавливая ее по оси полоза, строго следят за тем, чтобы уровень внутреннего и наружного рядов пластин был одинаковым и смазка не возвышалась над пластинами. Это одновременно

предупреждает и пережоги контактного провода. Широкие полозья рамной конструкции (например, у токоприемника 10РР) не вызывают, как правило, волнообразного износа провода.

Волнообразный износ не возникает и при использовании угольных вставок (независимо от числа их рядов на полозье), так как они не требуют нанесения сухой смазки.

2.3 Способы измерения износа контактного провода и снижения износа

Измерение износа контактного провода выполняют с целью предупреждения опасного уменьшения площади сечения провода, для анализа характера и особенностей процесса изнашивания, изучения влияния отдельных факторов, влияющих на срок службы провода, и для планирования потребности в нем.

Правилами устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог установлены предельные значения износа контактного провода, при которых делается вставка или производится замена провода.

В процессе изнашивания контактного провода из-за уменьшения площади сечения возрастает растягивающее натяжение его материала. Удельное натяжение медного и низколегированного контактных проводов не должно превышать 100 Н/мм^2 , а бронзового — 120 Н/мм^2 . Для соблюдения этих условий в эксплуатации по мере изнашивания контактного провода снижают его натяжение, руководствуясь максимальным износом провода на анкерном участке. При двух контактных проводах их натяжение снижают, исходя из наибольшего износа одного из проводов.

Для измерения износа контактного провода применяют электронные толщиномеры, скобы, микрометры, штангельциркули и другие ручные измерительные приборы; кроме того, выполняют автоматизированные измерения износа контактного провода приборами вагона-лаборатории ВИКС.

Визуальный контроль с оценкой состояния рабочей поверхности контактного провода и выборочные измерения его износа (при износе до 25 %) совмещают с проведением технического обследования. При износе 25 % и более измерения проводят: при угольных вставках 1 раз в 2 года, при металлокерамических пластинах — 1 раз в год.

Износ измеряют последовательно на всем протяжении анкерного участка: в середине пролетов, у всех зажимов, установленных на контактом проводе (струновых, фиксирующих, стыковых, средней анкеровки и питающих), а также в точках заметного повышенного местного износа. Измерения выполняют по обе стороны всех зажимов (кроме струновых), при этом фиксируют значения, соответствующие наибольшему износу.

На отходящих ветвях сопряжений анкерных участков, не взаимодействующих с токоприемниками, выполняется только визуальный контроль состояния провода без измерения износа.

При двух контактных проводах они обозначаются «левый» и «правый» относительно направления счета километров на участке, независимо от номера пути и направления движения поездов по нему. При шахматном расположении струн измерения производят у струнового зажима одного провода и рядом, в середине межструнового пролета второго провода.

Результаты замеров записывают в книгу состояния контактного провода, которая имеется в районах контактной сети. Затем подсчитывают среднее арифметическое значение высоты контактного провода h_{cp} для каждого анкерного участка (для двойного — отдельно правого и левого проводов). При этом данные замеров по вставкам отбрасывают. Далее по средней высоте сечения провода h_{cp} определяют средний износ ΔS_{cp} , мм², для каждого анкерного участка. Данные о ΔS_{cp} по установленной форме передают в дистанцию электроснабжения.

Снижению интенсивности изнашивания контактного провода, продлению срока его службы уделяют большое внимание. С этой целью применяют угольные или металлоуглеродистые вставки, а также пластины из порошковых спеченных материалов (металлокерамические).

Угольно-графитовые материалы выгодно отличаются малой плотностью, большой термостойкостью, а следовательно — стойкостью к электрической эрозии. Они обладают отличными антифрикционными свойствами (коэффициент трения в пределах 0,1—0,25) и высокой полирующей способностью, что позволяет снизить износ контактного провода при высокой износостойкости самих вставок.

Угольные вставки изготавливают двух типов: А — на коксовой основе (собственно угольные) и Б — на графитовой. Графит снижает электрическое сопротивление вставок, но твердость их меньше. Обычная длина вставок — 240 мм, но могут быть длиной до 600 мм. Угольные вставки типа А не маркируют. Вставки типа Б обозначают на одной из боковых поверхностей риску глубиной ОД—0,2 мм на высоте 16—20 мм от опорной поверхности подошвы.

Профиль вставок для конкретных условий выбирают максимально возможной площадью сечения при условии соблюдения требований по динамическому взаимодействию токоприемника с контактным проводом.

Допускаемый ток токоприемника с угольными вставками для режимов движения и стоянки ЭПС, а также перегрузочную способность токоприемника для режима движения выбирают такими, чтобы не было перегруза и непрерывного искрения по длине пути в скользящем контакте, т.е. чтобы не было возникновения непрерывной контактной электровзрывной эрозии.

2.4 Анализ износа контактного провода на перегоне

Выполним анализ процесса износа контактных проводов на перегоне двухпутного участка. Анализ будем проводить с применением программного обеспечения «Microsoft Excel», обладающего необходимым функционалом. Данные о износе контактных проводов получены в дистанции электроснабжения. Для определения общих зависимостей процесса все данные

были распределены с указанием участка, на котором произведены измерения (прямой участок пути, кривая с центром слева или справа по ходу движения). Данные приведены в таблице Г.1.

Процесс анализа представляет собой следующие этапы:

1) Были заданы интервалы износа (шаг между значениями принят равным 0,1 мм). Далее для каждого типа участка подсчитано количество значений, попадающих в каждый интервал. Число попаданий приведено в таблице Г.2. В первом столбце таблицы указана верхняя граница расчетного интервала износа, а нижняя граница соответствует предыдущему значению. Также было вычислено общее количество измерений по каждому участку. На основании таблицы Г.2 построены гистограммы распределения попаданий значений по интервалам (рисунки Г.1 – Г.6).

На основании таблицы Г.2 были рассчитаны оценки вероятности попадания значений износа в интервалы.

$$p_i = \frac{m_i}{N}, \quad (2.1)$$

где m_i – количество значений, попавших в i -й интервал;
 N – общее количество измерений на данном типе участка.

Значения вероятностей для каждого интервала приведены в таблице Г.3.

На основании таблиц Г.1 - Г.3 были рассчитаны математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение величины износа контактного провода по выборкам.

Математическое ожидание M_x может быть определено по формуле

$$M_x = \sum_{i=1}^k p_i \cdot x_i, \quad (2.2)$$

где k – общее количество интервалов;
 x_i – среднее значение износа для каждого интервала, мм.

Дисперсия D_x может быть определена по формуле

$$D_x = \sum_{i=1}^k p_i \cdot (x_i - M_x)^2. \quad (2.3)$$

Среднеквадратическое отклонение может быть определено по формуле

$$\sigma = \sqrt{D_x}. \quad (2.4)$$

Указанные вероятностные характеристики приведены в таблице Г.4. Исходя из полученных результатов можно заключить:

- 1) На прямых участках больше изнашивается провод, который располагается ближе к оси пути. Так, например, для нечетного пути при смещении проводов к опоре (отрицательный зигзаг) больше изнашивается правый провод (математическое ожидание высоты левого и правого контактного провода соответственно 9,93 мм и 9,80 мм). При смещении же от опоры (положительный зигзаг) больше изнашивается левый провод (математическое ожидание 9,81 мм и 9,91 мм). Для четного пути наблюдаются аналогичные зависимости – при смещении проводов от опоры больше изнашивается правый провод (математическое ожидание 10,44 мм и 10,57 мм), а при смещении к опоре – левый провод (математическое ожидание 10,44 мм и 10,56 мм). Указанные зависимости могут быть объяснены тем, что износ провода, расположенного на дополнительном фиксаторе дальше от места сочленения с основным стержнем будет выше вследствие поворота дополнительного фиксатора.
- 2) На кривых с центром слева по ходу километров износ правого провода для всех случаев выше, чем для левого (математическое ожидание для нечетного пути 9,37 мм против 9,68 мм, для четного пути 10,05 мм против 10,32 мм). Указанные зависимости могут быть объяснены тем, как и на прямом участке пути сильнее изнашивается провод, расположенный дальше на дополнительном фиксаторе. Однако ввиду того, что в кривых зигзаг выполняется во внешнюю сторону кривой, зависимость одинакова и для четного, и для нечетного пути.
- 3) На кривых с центром справа по ходу километров ситуация с износом зеркальная. Ввиду того что зигзаг также выполняется во внешнюю сторону кривой, износ для левых проводов теоретически должен быть выше, чем для правых проводов. Это подтверждают результаты анализа износа (математическое ожидание высоты для правого провода по нечетному пути 9,54 мм против 9,67 мм, по четному пути 10,17 мм против 10,26 мм).

2.5 Вывод по разделу

В специальной части дипломного проекта приведено обоснование необходимости производства контроля износа контактных проводов ввиду влияния износа проводов на надежность работы участка контактной сети (недопустимый износ может стать причиной разрыва контактных проводов и возникновения аварийной ситуации, снижение натяжения проводов ухудшает качество токосъема).

Рассмотрена специфика процесса износа, определены типы износа (электрический и механический), приведены наиболее влияющие факторы (масса элементов на контактном проводе) и наиболее значимые участки для контроля износа (перегоны).

Рассмотрена технология измерения износа контактного провода и возникающие при этом сложности (превышение износа в любой из точек анкерного участка приводит к повреждению и выходу из строя всего участка,

контактная сеть является линейным объектом большой протяженности).

Рассмотрены два возможных способа измерения износа контактного провода – ручной (с помощью ручных измерительных приборов, выполняемый электромонтером со съёмной вышки) и автоматизированный (с помощью датчиков вагона-лаборатории), определены их достоинства и недостатки (скорость измерения автоматизированного способа, точность ручного способа). Рекомендуется до определенной величины износа (до 25%) использовать более быстрый автоматизированный метод, а при высоких значениях износа (25% – 30%) – более точный ручной метод.

Проанализированы данные по износу контактного провода, рассчитаны вероятностные характеристики выборок износа контактного провода для прямого участка пути и в кривых с центром слева и справа. Произведен анализ полученных результатов (износ контактных проводов, расположенных ближе к оси пути выше, так как они расположены дальше на дополнительном фиксаторе, поэтому поворот дополнительного фиксатора вызывает больший износ).

3 Расчет годовых эксплуатационных затрат на текущее содержание и ремонт проектируемого участка контактной сети

Содержание контактной сети, как и любого другого объекта, требует постоянного контроля, а также, при необходимости, ремонта. Для осуществления этих действий требуется некоторый объем средств. Он может быть рассчитан исходя из следующих основных статей расходов:

- средства на техническое обслуживание;
- средства на текущий ремонт;
- средства на капитальный ремонт;
- амортизационные отчисления.

В ходе разработки первой части дипломного проекта был выполнен проект электрификации участка контактной сети на заданной станции и перегоне. Согласно задания на дипломный проект данный участок дополнительно вводится в эксплуатацию к уже имеющимся участкам, обслуживанием которых занимается район контактной сети (ЭЧК). Произведем расчет фонда оплаты труда (ФОТ) для ЭЧК. Определим затраты на проектируемый участок $Z_{пр}$ исходя из пропорции полных затрат ЭЧК к общей длине обслуживаемой контактной сети.

Указанные затраты могут быть определены по формуле

$$Z_{пр} = \frac{Z_{ЭЧК}}{l_{ЭЧК}} \cdot l_{пр}, \quad (3.1)$$

где $Z_{ЭЧК}$ – общая сумма оплаты труда работников района контактной сети (см. таблицу 3.1);

$l_{ЭЧК}$ – развернутая длина контактной сети, обслуживаемая ЭЧК, км;

$l_{пр}$ – развернутая длина контактной сети проектируемого участка, км.

$$l_{пр} = l_{пр.станции} + l_{пр.перегона}, \quad (3.2)$$

где $l_{пр.станции}$ – развернутая длина контактной сети станции проектируемого двухпутного участка, определяется как сумма длин всех анкерных участков станции, проект которой выполнен в основной части дипломного проекта (см. чертеж 2 графической части);

$l_{пр.перегона}$ – развернутая длина контактной сети перегона проектируемого двухпутного участка, определяется как сумма длин всех анкерных участков перегона, проект которого выполнен в основной части дипломного проекта (см. чертеж 3 графической части).

$$l_{пр.станции} = \sum l_{исс}, \quad (3.3)$$

$$l_{\text{пр.станции}} = 2 \cdot 1020 + 1231 + 1101 + 1191 + 609 + 2 \cdot 1029 = 8,23 \text{ км},$$

$$l_{\text{пр.перегона}} = \sum l_{\text{шп}} , \quad (3.4)$$

$$l_{\text{пр.перегона}} = 1378 + 1342 + 2 \cdot (1414 + 1340) = 8,228 \text{ км}.$$

По формуле (3.2) получим

$$l_{\text{пр}} = 8,23 + 8,228 = 16,458 \text{ км}.$$

3.1 Расчет численности работников и фонда оплаты труда района контактной сети

Согласно исходных данных заданный ЭЧК обслуживает контактную сеть развернутой длины $l_{\text{ЭЧК}} = 170$ км. Исходя из указанной длины определим контингент рабочих ЭЧК. Численность рабочих рассчитывается по явочному и списочному составу.

Явочная численность работников ЭЧК, непосредственно занятых на работах по обслуживанию контактной сети (без учета руководителей) может быть определена по формуле

$$\mathbf{Ч}_{\text{явРАБ}}^{\text{КС}} = N_{\text{К}} \cdot l_{\text{ЭЧК}} , \quad (3.5)$$

где $N_{\text{К}}$ – норма количества работников на 1 км контактной сети, согласно исходных данных составляет 0,2 чел./км.

$$\mathbf{Ч}_{\text{явРАБ}}^{\text{КС}} = 0,2 \cdot 170 = 34 \text{ чел}.$$

С учетом руководителя ЭЧК полная явочная численность составит

$$\mathbf{Ч}_{\text{яв}}^{\text{КС}} = \mathbf{Ч}_{\text{явРАБ}}^{\text{КС}} + 1, \quad (3.6)$$

$$\mathbf{Ч}_{\text{яв}}^{\text{КС}} = 34 + 1 = 35 \text{ чел}.$$

В явочный контингент входят работники различной квалификации, что отражается на их заработной плате, а значит и на ФОТ. Согласно [18] примем распределение работников по профессиям и квалификациям, представленное в таблице 3.1.

Таблица 3.1. – Состав контингента работников ЭЧК

Профессия (должность)	Число работников в ЭЧК, чел.
Старший электромеханик	1
Электромеханик	1
Шофер автолетучки	1
Водитель дрезины	1
Водители дрезины (дежурные)	4
Итого без учета электромонтеров	8
Остальные работники (электромонтеры), в том числе:	34-8=26
Электромонтеры VI разряда (10% от оставшегося числа рабочих)	3
Электромонтеры V разряда (25% от оставшегося числа рабочих)	7
Электромонтеры IV разряда (30% от оставшегося числа рабочих)	8
Электромонтеры III разряда (оставшиеся от явочного числа рабочих)	8
Итого по электромонтерам	26
Всего работников	34

Произведем расчет численности электромонтеров в зависимости от их уровня квалификации. Согласно методических указаний принято, что 10% всех электромонтеров имеют четвертый разряд. Тогда их количество может быть определено по формуле

$$\mathcal{C}_{VI}^{KC} = (\mathcal{C}_{МОИТ}^{KC} - 8) \cdot 10\%, \quad (3.7)$$

$$\mathcal{C}_{VI}^{KC} = (34 - 8) \cdot 0,1 = 2,6 \approx 3 \text{ чел.}$$

Для остальных категорий работников принято, что их численность от общего количества для электромонтеров пятого и четвертого разряда составляет соответственно 25% и 30% от общего количества. Остальные электромонтеры имеют третий разряд. Тогда по формуле (3.7)

$$\mathcal{C}_V^{KC} = (34 - 8) \cdot 0,25 = 6,5 \approx 7 \text{ чел,}$$

$$\mathcal{C}_{IV}^{KC} = (34 - 8) \cdot 0,3 = 7,8 \approx 8 \text{ чел,}$$

$$\mathcal{C}_{III}^{KC} = 34 - 8 - 3 - 7 - 8 = 8 \text{ чел.}$$

Списочную численность работников $\mathcal{C}_{СПРАБ}$ может быть определена по формуле

$$\mathcal{C}_{\text{СПРАБ}} = \mathcal{C}_{\text{ЯВРАБ}}^{\text{КК}} \cdot \mathcal{K}_{\text{ЗАМ}}, \quad (3.8)$$

где $\mathcal{K}_{\text{ЗАМ}}$ – коэффициент замещения, учитывающий увеличение численности работников при отсутствии основных работников по болезни или другой причине, $\mathcal{K}_{\text{ЗАМ}} = 1,14$.

Величина $\mathcal{C}_{\text{ЯВРАБ}}^{\text{КК}}$ входит в формулу без учета руководителей и специалистов, тогда

$$\mathcal{C}_{\text{СПРАБ}} = (34 - 1 - 1) \cdot 1,14 = 36,48 \text{ чел.}$$

Полная списочная численность работников с учетом руководителя ЭЧК может быть определена по формуле

$$\mathcal{C}_{\text{СП}} = \mathcal{C}_{\text{СПРАБ}} + 1, \quad (3.9)$$

$$\mathcal{C}_{\text{СП}} = 38,76 + 1 = 39,76 \text{ чел.}$$

Численность работников на замещение $\mathcal{C}_{\text{ДОП}}$ может быть определена как разница между рассчитанными ранее значениями

$$\mathcal{C}_{\text{ДОП}} = \mathcal{C}_{\text{СПРАБ}} - \mathcal{C}_{\text{ЯВРАБ}}^{\text{КК}}, \quad (3.10)$$

$$\mathcal{C}_{\text{ДОП}} = 36,48 - 34 = 2,48 \text{ чел.}$$

Размер заработной платы начальника ЭЧК, а также старшего электромеханика и электромеханика с учетом [18] примем равными следующим значениям

$$\mathcal{O}_{\text{НАЧ}} = 40000 \text{ р.},$$

$$\mathcal{O}_{\text{СТ.ЭЛ}} = 32800 \text{ р.},$$

$$\mathcal{O}_{\text{ЭЛ}} = 26100 \text{ р.}$$

Труд электромонтеров и водителей транспортных средств оплачивается по повременно-премиальной системе в соответствии с тарифной сеткой таблицы 2 [18] по оплате труда рабочих (ТСР). Например, для специалиста шестого разряда месячная тарифная ставка составит

$$\mathcal{T}_{\text{МЕС6}} = \mathcal{МРОТ} \cdot \mathcal{K}_{\text{Т}}, \quad (3.12)$$

где $\mathcal{МРОТ}$ – минимальный размер оплаты труда, установленный на железнодорожном транспорте на момент производства

K_T – расчетов, принимаем равным 11487 р.;
тарифный коэффициент рабочего шестого разряда второго уровня оплаты труда, согласно [18] составляет 2,31.

$$T_{\text{МЕС6}} = 11487 \cdot 2,31 = 26534,97 \text{ р.}$$

Аналогично рассчитывается месячная тарифная ставка работникам других разрядов

$$T_{\text{МЕС5}} = 11487 \cdot 2,12 = 24352,44 \text{ р.,}$$

$$T_{\text{МЕС4}} = 11487 \cdot 1,89 = 21710,43 \text{ р.,}$$

$$T_{\text{МЕС3}} = 11487 \cdot 1,63 = 18723,81 \text{ р.}$$

Результаты расчетов приведены в таблице Г.1.

Помимо тарифной ставки работникам положены доплаты за выполнение особых поручений. Так, согласно технологии работ, при обслуживании контактной сети, в числе электромонтеров обязательно должен быть руководитель бригады. Доплата бригадира, составляет 15% тарифной ставки. Для электромонтера шестого разряда доплата составит

$$D_{\text{РУК}} = T_{\text{МЕС6}} \cdot 15\%, \quad (3.14)$$

$$D_{\text{РУК}} = 26534,97 \cdot 0,15 = 3980,25 \text{ р.}$$

Также все работники, занятые на обслуживании контактной сети, получают доплату за работу в тяжелых условиях. Согласно [18] размер доплаты от тарифной ставки для работников различных разрядов принимаем равным: для работников шестого разряда – 16%, для работников пятого, четвертого и третьего разряда – 10%. Водители дрезин и автотомтрис получают доплату в размере 4% от тарифной ставки, а электромеханики – 6%. Тогда, для работника шестого разряда такая доплата составит

$$D_{\text{ТУ6}} = T_{\text{МЕС6}} \cdot 16\%, \quad (3.15)$$

$$D_{\text{ТУ6}} = 26534,97 \cdot 0,16 = 4245,60 \text{ р.}$$

Для работников других разрядов соответственно

$$D_{\text{ТУ5}} = 24352,44 \cdot 0,1 = 2435,24 \text{ р.,}$$

$$D_{\text{ТУ4}} = 21710,43 \cdot 0,1 = 2171,04 \text{ р.}$$

$$D_{\text{ТУЗ}} = 18723,81 \cdot 0,1 = 1872,38 \text{ р.}$$

Водители автомотрис и дрезин, находящиеся на дежурстве в ночное время, получают доплату, размер которой составляет 13,3% от тарифной ставки, а при работе в праздничные и выходные дни – 3,28%. Таким образом, указанные доплаты могут быть определены по формулам

$$D_{\text{НВ}} = T_{\text{МЕС5}} \cdot 13,3\%, \quad (3.16)$$

$$D_{\text{ПД}} = T_{\text{МЕС6}} \cdot 3,28\%, \quad (3.17)$$

$$D_{\text{НВ}} = 26534,97 \cdot 0,133 = 3537,11 \text{ р.}$$

$$D_{\text{ПД}} = 26534,97 \cdot 0,0328 = 870,35 \text{ р.}$$

За успешное руководство ЭЧК начальнику и электромеханикам положена премия. Размер данной премии принимаем согласно [18] равным 20% от оклада. Тогда для указанных работников премия составит

$$P_{\text{НАЧ}} = O_{\text{НАЧ}} \cdot 20\%, \quad (3.18)$$

$$P_{\text{НАЧ}} = 40000 \cdot 0,2 = 8000,00 \text{ р.}$$

$$P_{\text{СТ.МЕХ}} = 32800 \cdot 0,2 = 6560 \text{ р.},$$

$$P_{\text{МЕХ}} = 26100 \cdot 0,2 = 5220 \text{ р.}$$

Для других работников также в том же размере предусматривается премия за успешную и качественную работу. Тогда для работников с третьего по шестой разряд премия составит

$$P_{\text{РАБ6}} = T_{\text{МЕС6}} \cdot 20\%, \quad (3.19)$$

$$P_{\text{РАБ6}} = 26534,97 \cdot 0,2 = 5306,99 \text{ р.}$$

$$P_{\text{РАБ5}} = 26534,97 \cdot 0,2 = 5306,99 \text{ р.},$$

$$P_{\text{РАБ4}} = 24352,44 \cdot 0,2 = 4870,49 \text{ р.},$$

$$P_{\text{РАБ3}} = 21710,43 \cdot 0,2 = 4342,09 \text{ р.}$$

Доплата по районному коэффициенту рассчитывается от суммы всех доплат и премий в размере 15% и для работника шестого разряда, занятого руководством бригадой электромонтеров, составит

$$D_{PK6} = (T_{MEC6} + D_{TY6} + D_{PYK} + П_{РАБ6}) \cdot 15\%, \quad (3.20)$$

$$D_{PK6(6)} = (26534,97 + 4245,6 + 3980,25 + 5306,99) \cdot 0,15 = 6010,17 \text{ р.}$$

Для остальных работников указанная выше доплата составит

$$D_{PK6} = (26534,97 + 4245,6 + 5306,99) \cdot 0,15 = 5413,13 \text{ р.},$$

$$D_{PK5} = (24352,44 + 2435,24 + 4870,49) \cdot 0,15 = 4748,73 \text{ р.},$$

$$D_{PK4} = (21710,43 + 2171,04 + 4342,09) \cdot 0,15 = 4233,53 \text{ р.},$$

$$D_{PK3} = (18723,81 + 1872,38 + 3744,76) \cdot 0,15 = 3651,14 \text{ р.}$$

Суммируя все перечисленные выше доплаты и премии, определим месячный заработок работников. Так для электромонтера-бригадира шестого разряда месячный заработок составит

$$Z_{мес} = T_{MEC6} + D_{TY6} + D_{PYK} + П_{РАБ6} + D_{PK6}, \quad (3.21)$$

$$Z_{мес6(6)} = 26534,97 + 4245,6 + 3980,25 + 5306,99 + 6010,17 = 46077,98 \text{ р.}$$

Для остальных работников месячный заработок составит соответственно

$$Z_{мес6} = 26534,97 + 4245,6 + 5306,99 + 5413,13 = 41500,69 \text{ р.},$$

$$Z_{мес5} = 24352,44 + 2435,24 + 4870,49 + 4748,73 = 36406,9 \text{ р.},$$

$$Z_{мес4} = 21710,43 + 2171,04 + 4342,09 + 4233,53 = 32457,09 \text{ р.},$$

$$Z_{мес3} = 18723,81 + 1872,38 + 3744,76 + 3651,14 = 27992,09 \text{ р.}$$

ФОТ на одну категорию работников может быть определен как годовая сумма всех заработков всех работников данной категории. Например, для электромонтеров-бригадиров шестого разряда

$$Z_{год6} = 12 \cdot Z_{мес} \cdot Ч_{VI}^{к.с.}, \quad (3.22)$$

$$З_{\text{год6}} = 12 \cdot 46077,98 = 552935,76 \text{ р.}$$

Аналогично для работников других разрядов

$$З_{\text{год6}} = 41500,69 \cdot 12 = 996016,56 \text{ р.},$$

$$З_{\text{год5}} = 36406,9 \cdot 12 = 3058179,6 \text{ р.},$$

$$З_{\text{год4}} = 32457,09 \cdot 12 = 3115880,64 \text{ р.},$$

$$З_{\text{год3}} = 27992,09 \cdot 12 = 2687240,64 \text{ р.}$$

Суммируя определенные выше значения для всех работников получаем основной ФОТ работников

$$З_{\text{осн}} = \sum З_{\text{годРАБ}}, \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} З_{\text{осн}} &= 662400 + 543168 + 453826,8 + 552935,76 + 996016,56 + \\ &+ 3058179,6 + 3115880,64 + 2687240,64 + 454066,32 + \\ &+ 2059557,12 + 416718,96 = 14999990,4 \text{ р.} \end{aligned}$$

Размер дополнительной платы работникам на замещение может быть определен по формуле

$$З_{\text{доп}} = 12\% \cdot (З_{\text{год}} - З_{\text{годНАЧ}}), \quad (3.24)$$

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot (14999990,40 - 662400,00) = 1720510,85 \text{ р.}$$

Общий ФОТ ЭЧК $З_{\text{ЭЧК}}$ может быть рассчитан по формуле

$$З_{\text{ЭЧК}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (3.25)$$

$$З_{\text{ЭЧК}} = 14999990,40 + 1720510,85 = 16720501,25 \text{ р.}$$

Согласно выполненным расчетам заполняем графы таблицы Г.1.

3.2 Расчет фонда оплаты труда работников ремонтно-ревизионного участка

Помимо работников ЭЧК на обслуживании контактной сети задействованы работники ремонтно-ревизионного участка (РРУ). Выполним расчет затрат на оплату труда работников РРУ. Согласно [18] на обслуживание 1 км контактной сети РРУ тратит 5 человеко-часов. На работах задействованы электромонтеры РРУ, имеющие пятый разряд.

Заработная плата Z_T работников РРУ на обслуживание проектируемого участка контактной сети составит

$$Z_T = 5 \cdot l_{\text{пр}} \cdot T_{\text{час5}}, \quad (3.26)$$

где $T_{\text{час5}}$ – часовая тарифная ставка электромонтера пятого разряда;
 $l_{\text{пр}}$ – развернутая длина проектируемого участка контактной сети, 16,458 км.

Примем, что месячная тарифная ставка электромонтера РРУ равна аналогичной ставке монтера ЭЧК. Тогда, с учетом того, что в месяце у работника РРУ 164,17 рабочих часов, величину Z_T определим следующим образом

$$Z_T = 5 \cdot 16,458 \cdot \frac{24352,44}{164,17} = 12206,63 \text{ р.}$$

Работника РРУ, также как и монтерам ЭЧК положены доплаты и премии. Доплата за тяжелые условия труда D_T составляет 10% от тарифной ставки, за разъездной характер работы – 25%, премия – 25%, доплата по районному коэффициенту – 15% от суммы всех доплат и премий (аналогично расчету для работника ЭЧК). Выполним расчет

$$D_T = 10\% \cdot Z_T, \quad (3.27)$$

$$D_T = 12206,63 \cdot 0,1 = 1220,66 \text{ р.}$$

$$Z_{\text{п}} = Z_T \cdot 25\%, \quad (3.28)$$

$$Z_{\text{п}} = 12206,63 \cdot 0,25 = 3051,66 \text{ р.}$$

$$D_p = Z_T \cdot 20\%, \quad (3.29)$$

$$D_p = 12206,63 \cdot 0,2 = 2441,33 \text{ р.}$$

$$D_k = 0,15 \cdot (Z_T + D_T + Z_{\text{п}} + D_p), \quad (3.30)$$

$$D_k = 0,15 \cdot (12206,63 + 1220,66 + 3051,66 + 2441,33) = 2838,04 \text{ р.}$$

ФОТ основной и дополнительной заработной платы рассчитывается аналогично соответствующим значениям для работников ЭЧК

$$\text{ФОТ}_{\text{ОСН.РРУ}} = Z_T + D_T + Z_{II} + D_P + D_K, \quad (3.31)$$

$$\text{ФОТ}_{\text{ОСН.РРУ}} = 12206,63 + 1220,66 + 3051,66 + 2441,33 + 2838,04 = 21758,32 \text{ р.}$$

$$\text{ФОТ}_{\text{ДОП.РРУ}} = 0,12 \cdot \text{ФОТ}_{\text{ОСН.РРУ}}, \quad (3.32)$$

$$\text{ФОТ}_{\text{ДОП.РРУ}} = 0,12 \cdot 21758,32 = 2611 \text{ р.}$$

Общий годовой ФОТ на оплату труда работников РРУ, занятых на обслуживании проектируемого участка контактной сети, составит

$$\text{ФОТ}_{\text{ОБЩ.РРУ}} = \text{ФОТ}_{\text{ОСН.РРУ}} + \text{ФОТ}_{\text{ДОП.РРУ}}, \quad (3.33)$$

$$\text{ФОТ}_{\text{ОБЩ.РРУ}} = 21758,32 + 2611 = 24369,32 \text{ р.}$$

3.3 Расчет затрат на содержание и текущий ремонт проектируемого участка контактной сети

С учетом расчетов, выполненных в подразделах 3.1 и 3.2 выполним расчет затрат на содержание и текущий ремонт проектируемого участка контактной сети. Первым видом затрат являются затраты на заработную плату работникам ЭЧК и РРУ $\mathcal{E}_{3.П}^{ПР}$ и могут быть определены по формуле

$$\mathcal{E}_{3.П}^{ПР} = Z_{ПР} + \text{ФОТ}_{\text{ОБЩ.РРУ}}, \quad (3.34)$$

В подразделе 3.1 нами был рассчитан ФОТ ЭЧК на всю развернутую длину участка. Исходя из длины проектируемого участка часть ФОТ ЭЧК на его обслуживание составит согласно формулы (3.1)

$$Z_{ПР} = 16,458 \cdot \frac{16720501,25}{170} = 1618741,23 \text{ р.}$$

Тогда

$$\mathcal{E}_{3.П}^{ПР} = 1618741,23 + 24369,32 = 1643110,55 \text{ р.}$$

В дополнение к указанным затратам необходимо учесть отчисления на социальные нужды. Согласно заданию на дипломный проект, они составляют 30,4 % от рассчитанного выше значения, тогда

$$\mathcal{E}_{\text{отч}}^{\text{IP}} = 0,304 \cdot \mathcal{E}_{3.\text{п.}}^{\text{IP}}, \quad (3.35)$$

$$\mathcal{E}_{\text{отч}}^{\text{IP}} = 0,304 \cdot 1643110,55 = 499505,61 \text{ р.}$$

Помимо заработной платы в затраты на содержание и ремонт проектируемого участка входят затраты на материалы, используемые для поддержания работоспособности контактной сети. Их размер согласно задания на дипломный проект составляет 2000 р. на 1 км развернутой длины контактной сети. Тогда указанные затраты могут быть определены по формуле

$$C_{\text{МАТ}} = 2000 \cdot l_{\text{пр}}, \quad (3.36)$$

$$C_{\text{МАТ}} = 2000 \cdot 16,458 = 32916,00 \text{ р.}$$

При выполнении работ требуется электроэнергия. Электроэнергия расходуется на освещение места работ, питания электроинструмента, а также на бытовые нужды работников, занятых на работах. Согласно задания на дипломный проект, годовой расход электроэнергии при работах по обслуживанию проектируемого участка составит 1200 кВт·ч на 1 км развернутой длины. Стоимость 1 кВт·ч согласно задания составляет 1,85 р. Тогда затраты на электроэнергию могут быть рассчитаны по формуле

$$C_{\text{ЭН}} = 1,85 \cdot 1200 \cdot l_{\text{пр}}, \quad (3.37)$$

$$C_{\text{ЭН}} = 1,85 \cdot 1200 \cdot 16,458 = 36536,76 \text{ р.}$$

Помимо перечисленных выше затрат имеются также прочие расходы, размер которых тоже должен быть учтен в общих затратах. В их число входят расходы на командировки и затраты по охране труда. Размер первых составляет 0,5% от $\mathcal{E}_{3.\text{п.}}^{\text{IP}}$, а вторых – 3%. Тогда данные расходы могут быть определены по формулам

$$C_{\text{КОМ}} = 0,5\% \cdot \mathcal{E}_{3.\text{п.}}^{\text{IP}}, \quad (3.38)$$

$$C_{\text{КОМ}} = 0,005 \cdot 1643110,55 = 8215,55 \text{ р.}$$

$$C_{\text{ТО}} = 3\% \cdot \mathcal{E}_{3.\text{п.}}^{\text{IP}}, \quad (3.39)$$

$$C_{тб} = 0,03 \cdot 1643110,55 = 49293,32 \text{ р.}$$

В процессе выполнения работ используются инструменты и приспособления, что неизбежно приводит к их износу и выходу из строя. Учет данных затрат принимается согласно [18] в размере 1 тыс.р. на одного сотрудника и может быть определен по формуле

$$C_{и} = 1000 \cdot \chi_{явРАБ}^{к}, \quad (3.40)$$

$$C_{и} = 1000 \cdot 16,458 \cdot \frac{39,76}{170} = 3849,24 \text{ р.}$$

Также необходимо учитывать затраты на поддержание работоспособности транспортных средств – автотрактора, дрезин, автомобилей. Затраты по данной статье принимаются в размере 1 тыс.р. на 1 км длины контактной сети и могут быть найдены по формуле

$$C_{в.т} = 1000 \cdot l_{пр}, \quad (3.41)$$

$$C_{в.т.} = 1000 \cdot 16,458 = 16458,00 \text{ р.}$$

Для доставки работников к месту производства работ необходимо учитывать средства либо на топливо, либо на затраты перевозчика. В любом случае, затраты на доставку персонала к месту выполнения работ согласно [18] могут быть рассчитаны в размере 1% от $\mathcal{E}_{3.П}^{П}$

$$C_{транс} = 1\% \cdot \mathcal{E}_{3.П}^{П}, \quad (3.42)$$

$$C_{транс} = 0,01 \cdot 1643110,55 = 16431,11 \text{ р.}$$

Помимо указанных выше расходов необходимо учитывать прочие затраты, которые возникают в процессе обслуживания, и не входят в перечисленные виды. Согласно [18] в дипломном проекте принимаем размер данных затрат равным 2 тыс.р. на одного работника, тогда

$$C_{пр} = 2000 \cdot \chi_{явРАБ}^{к}, \quad (3.43)$$

$$C_{пр} = 2000 \cdot 16,458 \cdot \frac{39,76}{170} = 7698,47 \text{ р.}$$

В общем, с учетом выполненных расчетов, прочие расходы могут быть найдены по формуле

$$C_{проч} = C_{ком} + C_{тб} + C_{и} + C_{в.т} + C_{транс} + C_{пр}, \quad (3.44)$$

$$C_{\text{пр}} = 8215,55 + 49293,32 + 3849,24 + 16458 + 16431,11 + 7698,47 = 101945,69 \text{ р.}$$

Помимо текущего ремонта необходимо учитывать затраты на капитальный ремонт, которые значительно больше. При капитальном ремонте производится замена оборудования, ресурс которого подошел к концу. Например, при капитальном ремонте контактной сети производится замена опор, контактных проводов и несущих тросов и других элементов контактной сети. Каждый год на капитальный ремонт проектируемого участка контактной сети необходимо отчислять 2 % от его стоимости. В рамках дипломного проектирования согласно исходных данных стоимость 1 км проектируемого участка принимаем равной 7000000 р., тогда затраты на капитальный ремонт могут быть найдены по формуле

$$C_{\text{ОБЩ}}^{\text{КР}} = 2\% \cdot 7000000 \cdot l_{\text{пр}}, \quad (3.45)$$

$$C_{\text{ОБЩ}}^{\text{КР}} = 0,02 \cdot 7000000 \cdot 16,458 = 2304120,00 \text{ р.}$$

Найденные затраты представляют собой сумму всех возникающих затрат и распределяются следующим образом: на заработную плату работников расходуется 12% от этих затрат, затраты на материалы и оборудование – 68%, на топливо – 12%. На заработную плату также необходимо учесть отчисления на социальные нужды в размере 30,4% от нее. Все остальные средства идут на прочие сопутствующие расходы. Исходя из приведенных выше соотношений расчет затрат может быть выполнен по формулам

$$\mathcal{E}_{\text{З.П.}}^{\text{КР}} = 12\% \cdot C_{\text{ОБЩ}}^{\text{КР}}, \quad (3.46)$$

$$\mathcal{E}_{\text{З.П.}}^{\text{КР}} = 0,12 \cdot 2304120,00 = 276494,4 \text{ р.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{МАТ}}^{\text{КР}} = 68\% \cdot C_{\text{ОБЩ}}^{\text{КР}}, \quad (3.47)$$

$$\mathcal{E}_{\text{МАТ}}^{\text{КР}} = 0,68 \cdot 2304120,00 = 1566801,6 \text{ р.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{ТОП}}^{\text{КР}} = 12\% \cdot C_{\text{ОБЩ}}^{\text{КР}}, \quad (3.48)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ТОП}}^{\text{КР}} = 0,12 \cdot 2304120,00 = 276494,4 \text{ р.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{СОЦ}}^{\text{КР}} = 0,304 \cdot \mathcal{E}_{\text{З.П.}}^{\text{КР}}, \quad (3.49)$$

$$\mathcal{E}_{\text{соц}}^{\text{кр}} = 0,304 \cdot 276494,4 = 84054,3 \text{ р.}$$

$$\mathcal{E}_{\text{проч}}^{\text{кр}} = C_{\text{общ}}^{\text{кр}} - \mathcal{E}_{3.П}^{\text{кр}} - \mathcal{E}_{\text{соц}}^{\text{кр}} - \mathcal{E}_{\text{мат}}^{\text{кр}} - \mathcal{E}_{\text{топ}}^{\text{кр}}, \quad (3.50)$$

$$\mathcal{E}_{\text{проч}}^{\text{кр}} = 2304120 - 276494,4 - 84054,3 - 1566801,6 - 276494,4 = 100275,3 \text{ р.}$$

Помимо затрат на текущий ремонт и на капитальный ремонт необходимо учитывать также затраты на амортизацию. Согласно [18] из размер принимается равным 2% от стоимости проектируемого участка. Таким образом, они численно равны затратам на капитальный ремонт и составляют 2304120,00 р.

Результаты расчетов приведены в таблице Г.2.

3.4 Вывод по разделу

В ходе выполнения экономической части дипломного проекта были рассчитаны явочная (35 чел.) и списочная (39,76 чел.) численности работников ЭЧК развернутой длиной 170 км. Общий годовой ФОТ работников ЭЧК составил 16720501,25 р. Проведен расчет затрат на оплату труда работников РРУ. Затраты составили 24369,32 р.

Годовые эксплуатационные затраты на текущее содержание и ремонт проектируемого участка контактной сети развернутой длиной 16,458 км составили 6922254,61 р. Из них 2314014,61 р. составили расходы по техническому обслуживанию и текущему ремонту контактной сети, 2304120,00 р. – расходы на капитальный ремонт контактной сети и 2304120,00 р. – амортизационные отчисления.

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Меры безопасности при измерении износа контактных проводов

4.1.1 Актуальность проблемы безопасного производства работ на контактной сети

В процессе эксплуатации контактной сети необходимо непрерывно следить за состоянием всех устройств, чтобы вовремя заметить нарушение целостности оборудования. Наиболее сложным в этом плане является контроль износа контактных проводов, который происходит при взаимодействии их с токоприемником подвижного состава. Сложность заключается не только в необходимости контроля территориально распределенного объекта (развернутая длина контактной сети одного ЭЧК может составлять более 150 км). Хотя и существуют дистанционные методы контроля износа с помощью вагона-лаборатории, максимальная точность измерений износа достигается только за счет непосредственного измерения высоты остаточного сечения проводов с помощью микрометра. При этом возникает необходимость нахождения электромонтера, осуществляющего износ в непосредственной близости от контактного провода.

Ввиду того, что закрытие движения на участках, где необходимо выполнить измерение износа проводов, с целью снятия напряжения с подвески привело бы к значительным материальным потерям, измерение износа всегда выполняют с сохранением движения поездов и, соответственно, под напряжением. Для осуществления работ в таких условиях используют изолированную съёмную вышку. Работы с изолированной съёмной вышки требуют от персонала высокой квалификации и четкого понимания порядка действий при отсутствии поездов и при их появлении.

Также обозначенные выше условия производства работ влекут за собой воздействие на персонал различных вредных и опасных производственных факторов, которые могут повлиять на здоровье работников: шум проходящего подвижного состава, воздействие низких и высоких температур окружающего воздуха, высокая или низкая влажность воздуха, повышенная запыленность, физические перегрузки, нервно-психические перегрузки (большое количество объектов наблюдения, монотонность труда, эмоциональные перегрузки), опасность падения с высоты.

Для обеспечения безопасности работников и сохранения их здоровья необходимо четко представлять, какие факторы производят на них влияние, каковы допустимые пределы воздействия этих факторов, какие приспособления необходимо использовать для уменьшения степени воздействия факторов.

Таким образом, измерение износа контактных проводов с изолированной съёмной вышки, учитывая, что эта работа выполняется на действующей железной дороге, является сложным и потенциально опасным мероприятием,

поэтому для обеспечения безопасности работников, а также сохранения их здоровья, необходимо провести анализ действующих вредных и опасных факторов, провести требуемые организационно-технические мероприятия, разработать технологию измерений, соответствующую требованиям действующих документов в области безопасности труда.

4.1.2 Нормативные требования в области безопасности

Процесс безопасного производства работ в электроустановках и в частности на контактной сети регламентируется государственными и ведомственными нормативными документами: «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» (ПОТЭУ) [16], «Правила безопасности при эксплуатации контактной сети и устройств электроснабжения автоблокировки железных дорог» [17], «Инструкция по безопасности для электромонтеров контактной сети» [18], технологические карты на работы по содержанию и ремонту устройств контактной сети электрифицированных железных дорог (ЦЭ-868-П5/3) [20], приказ Минтруда России №33н от 24 января 2014 г. «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению» [25], «Правила по охране труда при работе на высоте», утвержденными Приказом Минтруда России от 28.03.2014 №155н [35], «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ [37], «Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках» [40].

В Правилах [16] приведены требования к персоналу, производящему работы в электроустановках, определены порядок и условия производства работ, рассмотрены организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, испытаний и измерений в электроустановках всех уровней напряжения.

Правила [17,18] разработаны в соответствии с правилами устройства электроустановок и Правилами [16] и устанавливают требования безопасности и являются обязательными при техническом обслуживании, ремонте и испытании действующих электроустановок железнодорожного транспорта.

Технологические карты [20] определяют схему последовательного технологического процесса при выполнении конкретной работы, определяют необходимый состав исполнителей, применяемое оборудование.

Приказ [25] утверждает методику проведения специальной оценки условий труда, нормирует допустимые уровни воздействия вредных факторов на работников.

Правила [35] устанавливают государственные нормативные требования по охране труда и регулируют порядок действий работодателя и работника при организации и проведении работ на высоте. Они определяют принадлежность заданного типа работы к работам на высоте, описывают требования к

работникам, меры обеспечения безопасности работ на высоте, организацию работ на высоте.

Регламент [37] определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности, в том числе к зданиям, сооружениям и строениям, промышленным объектам и т.д.

4.1.3 Меры безопасности, методы работ и необходимые приспособления при измерении износа контактного провода

Работа по измерению износа производится четырьмя работниками. Исполнителями работ являются: электромонтер 6 разряда, электромонтер 5 разряда, два электромонтера 4 разряда, электромонтер 3 разряда [20].

Работа проводится в спецодежде с применением индивидуальных средств защиты (защитные каски и сигнальные жилеты (у всех членов бригады), проверенные предохранительные пояса (у исполнителей), пара диэлектрических перчаток), аптечки, комплекта сигнальных принадлежностей и набора инструмента электромонтера [18].

Производство работ выполняется без перерыва в движении поездов с ограждением места работы сигналистами, с выдачей предупреждения поездам о работе съёмной вышки; под напряжением с изолированной съёмной вышки с подъемом на высоту; по наряду и уведомлению энергодиспетчера с указанием времени начала и характера работ [20].

При работе на станционных путях работы производятся по согласованию с дежурным по станции. В местах секционирования работа выполняется с шунтированием проводов смежных секций. Если работа выполняется в пределах искусственных сооружений, то она производится со снятием напряжения.

Подбор механизмов и монтажных приспособлений осуществляется согласно списку в технологической карте на данный вид работы: вышка изолирующая съёмная, ключ гаечный, комплект измерительных скоб, универсальный микрометр или индикаторный прибор с точностью измерений 0,1 мм, блокнот для записи с письменными принадлежностями, заземляющая штанга, медная перемычка для шунтирования секций, перчатки диэлектрические (одна пара), три предохранительных пояса, пять защитных касок, аптечка, переносная радиостанция, пять сигнальных жилетов, сигнальные принадлежности.

Для электробезопасности применяются заземляющие штанги, шлейф которых имеет сечение по меди 50 мм².

Для связи используется переносная радиостанция.

4.1.4 Организационно – технические мероприятия и последовательность технологического процесса при измерении износа

Рассмотрим вопрос по организации проведения безопасных работ при измерении износа контактного провода с использованием как индивидуальных, так и коллективных средств защиты.

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ на контактной сети и линиях электроснабжения, являются следующие: оформление работ; допуск к работам; инструктаж на месте работ; надзор во время работ; оформление перерыва в работах, перехода на другие рабочие места и окончания работ [17].

Накануне работ необходимо передать энергодиспетчеру заявку на выполнение работ под напряжением с применением изолирующей съёмной вышки, без перерыва в движении поездов и выдачу предупреждений поездам о работе съёмной вышки, с указанием времени, места и характера работ [17, 20].

Также следует получить наряд на производство работ и инструктаж от лица, выдавшего его, подобрать монтажные приспособления, защитные средства, сигнальные принадлежности и инструмент, проверить их исправность и сроки испытаний. Погрузить их на транспортное средство, организовать доставку вместе с бригадой к месту работы.

Далее следует уведомить энергодиспетчера о времени, месте и характере работ. Убедиться в выдаче предупреждений поездам о работе съёмной вышки. 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”.

Техническими мероприятиями по обеспечению безопасности работающих являются [17]:

- выдача предупреждений поездам;
- уравнивание потенциалов площадки и контактной подвески.

По прибытии на место работы руководитель должен провести текущий инструктаж по технике безопасности всем членам бригады с росписью каждого в наряде, а также четко распределить обязанности между исполнителями.

Далее следует определить порядок ограждения съёмной вышки и выставить сигналистов. Также следует проверить внешним осмотром техническую исправность съёмной вышки, при необходимости, очистить изоляционные детали от пыли и загрязнения, установить вышку на путь и опробовать ее изоляцию рабочим напряжением [17, 20].

При выполнении работ в месте секционирования необходимо: включить по приказу энергодиспетчера шунтирующий смежные секции секционный разъединитель; установить медную шунтирующую перемычку между секциями контактной подвески (при завешенных на них шунтирующих штангах).

Перед допуском к работе производитель работ обязан непосредственно на месте работ провести целевой инструктаж по технике безопасности всем членам бригады с росписью каждого в наряде, четко распределить обязанности

между исполнителями. Каждый член бригады отвечает за соблюдение им инструкции по безопасности для электромонтеров контактной сети и местных инструкций, а также указаний, получаемых при инструктаже. Он должен принимать необходимые меры в случае, если им будет замечено нарушение, допущенное другими членами бригады. В процессе работы каждый член бригады должен выполнять указания производителя работ или наблюдающего [17].

После этого осуществляется допуск бригады к производству работ. Во всех случаях допуск осуществляет производитель работ, после того как он лично непосредственно на месте работы убедится в выполнении всех необходимых мероприятий, обеспечивающих возможность безопасного ее производства. К работам допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, производственное обучение безопасным методам труда, сдавшие экзамены в квалификационной комиссии и имеющие удостоверение о проверке знаний по электробезопасности [17].

Надзор за работающими должен осуществлять производитель работ. Он не должен принимать участия в работе по наряду.

Работа производится в следующей последовательности [20]:

1. установить изолирующую съемную вышку в начале анкерного участка (рисунок Е.1 и Е.2). Электромонтеру подняться на рабочую площадку с измерительным инструментом;
2. установить на провод в месте замера измерительный инструмент так, чтобы контактирующая поверхность провода прилегла плотно без перекоса к поверхности измерительной скобы или “губок” измерительного прибора. Измерить высоту оставшегося сечения провода (рисунок Е.3).

Измерения производят последовательно по каждому анкерному участку у всех зажимов, установленных на контактном проводе: струновых, фиксирующих, стыковых, средней анкеровки и питающих, а также в точках заметного повышенного местного износа (рисунок Е.4). Измерение износа выполняется по обе стороны всех зажимов (кроме струновых и питающих), при этом фиксируются значения, соответствующие наибольшему износу.

При двух контактных проводах они обозначаются “левый” и “правый” в направлении увеличения количества километров независимо от направления движения.

При шахматном расположении звеньевых струн измерения производят у струнового зажима одного провода и рядом, в середине межструнового пролета, второго провода.

На отходящих ветвях сопряжений анкерных участков высоту сечения провода не измеряют.

3. Измеренные значения (рисунок Е.5) передать электромонтеру, находящемуся внизу, для записи в блокнот.

После окончания работ необходимо привести контактную подвеску в рабочее положение, снять заземляющие штанги.

После производства всех измерений следует приступить к завершению работ. При работе в месте секционирования нужно снять временную шунтирующую перемычку между проводами смежных секций (при завешенных на них шунтирующих штангах).

Далее следует собрать материалы, монтажные приспособления, инструмент, защитные средства и погрузить их на транспортное средство, убрать съемную вышку с пути, установить ее у опоры, не нарушая габарит приближения строений, и запереть струбциной на замок. Снять сигнальщиков, ограждавших место работы.

После этого дать уведомление энергодиспетчеру об окончании работ. При работе на станции оформить запись в “Журнале осмотра путей, стрелочных переводов, устройств СЦБ, связи и контактной сети”.

Возвратиться на производственную базу ЭЧК.

Результаты измерений перенести из блокнота в “Книгу состояния контактного провода” (форма ЭУ-85) для последующего анализа износа. Высоту сечения 7 мм и менее для провода МФ-85, 8 мм и менее для провода МФ-100 и 10 мм и менее для провода МФ-150 записать красными чернилами.

4.2 Экспертиза дипломного проекта на соответствие всех разделов требованиям безопасности и экологичности

4.2.1 Промышленная санитария (гигиена труда)

В настоящее время на территории Российской Федерации действуют санитарные правила СП 1.1.1058-01 “Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий”, утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 13.07.2001 № 18. Этим документом на работодателя возлагается, в том числе и контроль за проведением лабораторных испытаний производственных факторов на рабочих местах (шум, вибрация, температура, влажность и т. д.). Работодатель обязан проводить производственный контроль в соответствии с СП 1.1.1058-01 и представлять информацию о результатах производственного контроля учреждениям Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) по их запросам.

Вредными факторами при производстве работ на контактной сети являются:

- постоянная работа на открытом воздухе (воздействие снега, ветра, дождя, солнца);
- работа на высоте (при работе со съемной вышки, приставной лестницы, площадки автмотрисы);
- шум (от проходящего подвижного состава, работающих дизель-генераторов, рабочего инструмента);
- рабочая поза (работа в полусогнутом или висячем положении);

– эмоциональное напряжение (осознание опасности от частей, находящихся под напряжением, от проходящих поездов, от возможных неправильных действий коллег);

– воздействие электромагнитного поля (от действующих линий электропередач);

– воздействие вибрации (при нахождении на площадке автототрисы, для водителя автототрисы – постоянная общая вибрация);

– перемещения пешком, обусловленные технологией работ (осмотры контактной сети перегонов), большая физическая нагрузка.

Защита работников дистанции электроснабжения от неблагоприятных климатических факторов при работах на открытом воздухе осуществляется путем обеспечения персонала одеждой в соответствии с «Типовыми нормами бесплатной выдачи сертифицированных специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех отраслей экономики, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением», утвержденными Министерством здравоохранения и социального развития РФ приказом №541н от 1 октября 2008 года (электромонтеры контактной сети обеспечиваются теплозащитным костюмом, валенками, зимней шапкой со звукопроводными вставками, меховыми рукавицами). Также устанавливают ограничения в работе при ветре со скоростью 12 м/с, дожде, тумане. При отрицательной температуре предусмотрены технологические перерывы через определенные промежутки времени в зависимости от погодных условий.

Физическая тяжесть труда по большинству видов проводимых работ относится в соответствии [25], к категории средней тяжести с уровнем энергозатрат 150 – 250 кКал/ч (II категории). Наряду с этим, имеется значительная часть работ, которая относится к физически тяжелым – III категории тяжести при уровне энергозатрат 250 – 300 кКал/ч и более (подъем и перенос лейтера весом 100 – 150 кг до 10 раз в час, работа с блоками, вырезка несущего троса, затаскивание на лейтер изоляторов, натяжение вручную контактного провода и другое).

Допустимые значения электромагнитного излучения регламентируются [25]. На рабочих местах электромонтеров при восьмичасовом воздействии предельно допустимый уровень составляет 5 кВ/м. Контактный провод на участках постоянного тока создает электромагнитное поле, уровень которого на рабочем месте ниже уровня электромагнитного поля при переменном токе и по расчетным данным не превышает действующий предельно допустимый уровень (ПДУ).

Допустимые значения вибрации регламентируются [25]. В случае превышения допустимых требований необходимо использовать средства защиты. Для виброзащиты применяются средства индивидуальной ног и тела оператора. Также кресло водителя дрезины должно иметь крепление к кузову через демпфирующие элементы.

Предельно допустимый уровень шума на рабочем месте регламентируется [25]. При работе электромонтера эквивалентный уровень звука от проходящих поездов достигает 78 дБА при ПДУ – 80дБА. Высокий уровень звука обычно воздействует на электромонтера кратковременно (при проходе поезда в течение 1-2 минут), уровень шума не превышает допустимые пределы, поэтому специальных защитных устройств не требуется. В целях сохранения внимания электромонтеров необходимо ограничить продолжительность смены, установить перерывы в работе. В случае необходимости выполнения большого объема работ иногда целесообразно привлекать к работе несколько бригад, чтобы уменьшить время выполнения работы.

На основании указанных характеристик рабочего места электромонтера контактной сети составляется карта специальной оценки условий труда – документ, содержащий сведения о фактических условиях труда на рабочем месте, применяемых льготах, компенсациях, доплатах работникам и о их соответствии действующему законодательству, нормам (выдачи спецодежды и др. СИЗ), а также рекомендации по улучшению условий труда на данном рабочем месте (аналогичных рабочих местах) и, в случае необходимости, предложения об отмене (или о введении новых) льгот и компенсаций.

4.2.2 Безопасность труда

Опасными факторами при производстве работ на контактной сети являются:

- работа с повышенной опасностью, высоким напряжением в контактной сети, ВЛ автоблокировки и продольного электроснабжения;
- работа в условиях движения подвижного состава на путях;
- работа на высоте (при работе со съёмной вышки, площадки автотрифы, приставной лестницы);
- работа с грузоподъемными механизмами.

При работе необходимо использовать приспособления, которые по показателям, характеристикам и нормам испытания подходят для данной работы (полиспасты определенного уровня нагрузки, диэлектрические перчатки, изолирующие штанги, натяжные зажимы и другие механизмы и приспособления). Все токоведущие части имеют изоляцию от несущих конструкций. Разъединители контактной сети имеют блокировки от случайного включения. Для защиты от пробоя изоляции на опорах контактной сети предусмотрены заземляющие спуски, прикрепленные к тяговому рельсу. Для предупреждения поражения людей и защиты производственного оборудования от обрыва контактного провода, предусмотрены быстродействующие защиты, которые отключают быстродействующие автоматы на тяговых подстанциях, постах секционирования и пунктах параллельного соединения за очень короткое время.

Работы на высоте регламентируются «Правилами по охране труда при работе на высоте», утвержденными Приказом Минтруда России от 28.03.2014

№155н [35]. К таким работам допускаются лица, достигшие 18 лет. Данные лица должны выполнить ряд требований: пройти медицинскую комиссию и получить заключение о допуске к работам на высоте, получить инструктаж по технике безопасности (после прохождения соответствующего обучения). Также у них должен быть допуск к самостоятельной работе. Работники всех специальностей для выполнения даже кратковременных работ на высоте с лестниц должны обеспечиваться предохранительными поясами и, при необходимости, защитными касками. Все работы на высоте должны осуществляться только в светлое время суток. В аварийных ситуациях (для экстренного проведения ремонтных работ), на основании приказа администрации, работы на высоте в темное время суток также могут быть осуществлены, но только при полном соблюдении всех правил безопасности. Кроме этого, в темное время суток рабочее место должно быть хорошо освещено в соответствии с действующими нормами. При силе ветра 10-12 м/сек и более работы на высоте не могут быть произведены. Кроме того, выполнение таких работ запрещено при прохождении снегопадов и гроз, при наличии гололеда.

Все работы на контактной сети производятся с обязательным ограждением места работ. Персоналу, производящему работы на контактной сети, выдаются сигнальные жилеты для обеспечения безопасности работы.

Вновь поступившие работники обучаются охране труда с последующей проверкой знаний и стажировкой. При овладении основными навыками работник приступает к самостоятельному выполнению профессиональных обязанностей на рабочем месте под надзором опытного работника с обязательным прохождением противоаварийной и противопожарной тренировки (дублирование). По окончании стажировки (дублирования) и при удовлетворительных результатах проверки знаний по вопросам охраны труда приказом работодателя (или руководителя структурного подразделения) работник допускается к самостоятельной работе, о чем делается запись в журнале регистрации инструктажей.

4.2.3 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям на контактной сети относят происшествия [21,22]:

- аварийная поломка устройств контактной сети;
- пожар вблизи контактной сети;
- террористический акт.

Обрыв контактного провода или поломку устройств контактной сети необходимо устранить в короткие сроки по технологическим картам на данный вид работ с минимальной задержкой движения пассажирских и грузовых поездов.

Непосредственно устройства и провода контактной сети пожаробезопасны, но необходимо соблюдать меры электробезопасности при ликвидации пожара в непосредственной близости от контактной сети. При

обнаружении пожара вблизи контактной сети или дополнительных проводов и связанных с ними устройств, требуется незамедлительно поставить в известность поездного диспетчера, энергодиспетчера или сотрудников ЭЧК. До отключения контактной сети тушение предметов или механизмов, расположенных на расстоянии менее 2 м от контактной сети, допускается выполнять лишь с применением порошковых, углекислотнобромэтиловых, аэрозольных и углекислотных огнетушителями. При этом не допускается приближение к проводам контактной сети менее, чем на 2 м. Использование при ликвидации пожара воды, пенных или иных огнетушителей допускается только при снятом с проводов напряжении и их заземлении.

При организации тушения пожара на электрифицированных участках запрещается до снятия напряжения приближаться к проводам и другим частям контактной сети и воздушных линий на расстояние менее 2 м, а к оборванным проводам контактной сети на расстояние менее 8 м до их заземления.

В каждом районе контактной сети должно быть назначено лицо, ответственное за пожарную безопасность цеха. Территория районов контактной сети должна систематически очищаться от производственных и бытовых отходов, опавших листьев, травы, тополиного пуха.

Для предотвращения террористической угрозы на все дороги направлены: распоряжение №2628р от 20 декабря 2010 г. «Об утверждении концепции корпоративной безопасности ОАО «РЖД» в условиях реформирования» [43];

наглядное пособие «Внимание! Терроризм», в котором содержится информация о возможных местах установки взрывных устройств, о том, как должны действовать работники транспорта и пассажиры в случае террористической угрозы и т.д.;

методические указания и памятки для различных категорий работников железнодорожного транспорта о действиях при нештатных ситуациях, например, если на вокзале пассажир обнаружил подозрительный предмет или в дежурную службу транспортной организации поступило сообщение о заминировании и проч.;

Также выполняется ряд мероприятий:

- организация охраны общественного порядка;
- поддержание постоянной бдительности без элементов психоза, паники, патологической подозрительности с привлечением общественности;
- организация контроля над передвижением автотранспорта и его парковкой на территории;
- создание системы контроля над всеми помещениями на территории посредством опечатывания с определением персональной ответственности.

При обнаружении подозрительного предмета – сумки или свертка, лежащего в не предназначенном месте, необходимо сообщить в правоохранительные органы. При анонимном звонке с угрозой совершения теракта, нужно получить как можно больше информации от звонящего: о месте положения взрывного устройства, его типе, времени взрыва, требованиях звонящего. Так же, запомнить время звонка, по возможности – место, откуда произведен звонок, возраст звонящего, манеру его общения, акцент и другую

информацию. После звонка, поставить в известность об угрозе правоохранительные органы и местное управление по ГО и ЧС.

4.2.4 Требования экологической безопасности

Контактная сеть железнодорожного транспорта в силу специфики своего назначения и процесса работы является одним из наиболее экологически безопасных устройств на железных дорогах. Все элементы контактной сети изготавливаются из нетоксичных элементов: металла (медь и ее сплавы, сталь и чугун, алюминий) и бетона. Постепенный износ и разрушение элементов контактной сети не приводит к загрязнению окружающей среды опасными веществами.

Металлические опоры контактной сети, примененные в проекте, имеют разборное соединение с фундаментом, что делает возможным повторно их использование. При повреждении стойки в процессе эксплуатации, ее утилизация производится как вторичное сырье (аналогично, как это делается для других изделий из черных металлов). Бетонные конструкции должны быть вывезены на специальные предприятия для разбивки, отделения арматуры от бетона.

В процессе эксплуатации контактной сети не образуется каких-либо опасных химических соединений, отсутствуют выбросы таких соединений в атмосферу. При воздействии ветра на элементы контактной сети возможно возникновение колебаний проводов, которые передаются в землю и могут воздействовать на живые организмы. Однако их величина незначительна на фоне вибраций от проходящего подвижного состава, поэтому практически не оказывает воздействие на экологию. При строительстве контактная сеть всегда располагается в теле насыпи, в полосе отвода железной дороги и не требует отведения дополнительных земель.

Элементы контактной сети, находящиеся под напряжением, расположены на значительной высоте, поэтому опасность гибели животных при касании ими токоведущих частей отсутствует. Для недопущения поражения электрическим током птиц, а также препятствования их гнездованию на элементах опор и жестких поперечин должны быть использованы специальные репеллентные защиты на изоляторах и жестких поперечинах.

Основную угрозу для окружающей среды при строительстве контактной сети, электрифицированной на постоянном токе, представляет возможное загрязнение прилегающей к дороге территории различными веществами вследствие электрокоррозии и разрушения находящихся вблизи трубопроводов. Для предотвращения этого проводятся специальные мероприятия по защите от электрокоррозии [39]. Защита подземных сооружений обеспечивается выполнением комплекса мероприятий по ограничению блуждающих токов в земле и применением пассивных и активных средств защиты на самих сооружениях.

Для охраны земляных ресурсов необходимо уничтожать отходы, которые имеют место при замене вышедшего из строя оборудования контактной сети.

Вывоз и складирование демонтируемых конструкций и проводов осуществляется в специально отведенное для этого место в районе контактной сети с дальнейшей их утилизацией через организации вторсырья. Нарушенные при установке опор кюветы и водоотводы восстанавливаются сразу по окончании работы в этом месте.

4.3 Выводы по разделу

В первой части раздела «Безопасность и экологичность проекта» была рассмотрена безопасность выполнения работ по измерению износа контактного провода, отражены опасные воздействия на персонал при работе на контактной сети и описана актуальность проблемы обеспечения безопасности персонала (выполнение работ вблизи частей под напряжением, движение поездов по обслуживаемому и соседним путям), перечислены нормы и правила охраны труда, пожарной и электробезопасности, приведены требования нормативных документов, регламентирующих методы подготовки к работе и производство самих работ по измерению износа.

Во второй части раздела изучено соответствие проекта нормам, изложенным в инструкциях по безопасности и экологии. Приведена характеристика опасных и вредных производственных факторов, определяющих условия труда при работах на контактной сети, их предельные значения. Рассмотрены меры, применяемые для безопасности производственного оборудования и производственных процессов. Разработаны требования промышленной санитарии и экологической безопасности. Описаны меры безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Разработанный проект соответствует всем нормам и требованиям безопасности. Безопасность персонала обеспечивается строгим выполнением предписанных норм и правил безопасности в технологическом процессе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам разработки дипломного проекта можно сделать следующие основные выводы:

1. Для заданных климатических условий и типа подвески по главному пути М-120 + 2НлФ-100 и по боковому пути М-120 + НлФ-100 выполнен расчет нагрузок на провода контактной подвески на всех типах участков (например, для путей перегона нагрузка от веса несущего троса составила 10,471 Н/м, от веса контактного провода – 8,731 Н/м, от веса подвески – 29,932 Н/м, от веса подвески с гололедом – 42,975 Н/м, от действия максимального ветра на несущий трос – 5,526 Н/м, от действия максимального ветра на контактные провода – 5,776 Н/м, от действия ветра при гололеде на несущий трос – 5,116 Н/м, от действия ветра при гололеде на контактные провода – 4,018 Н/м).

2. Для всех типов участков на станции и перегоне выполнен расчет максимально допустимых длин пролетов. Для главного пути станции максимальная длина пролета составила 65 м, для кривой $R = 600$ м на перегоне – 57 м, для кривой $R = 850$ м на перегоне – 65 м, для кривой $R = 1000$ м на перегоне – 65 м, для кривой $R = 850$ м на насыпи – 64 м, для кривой $R = 1000$ м на насыпи – 65 м. По условию обеспечения хорошего токосяема длина пролета принимается не более 65 м.

3. Разработана схема питания и секционирования станции. Контактная подвеска станции разделена на 4 секции, установлены 3 поперечных разъединителя, по краям станции выполнены изолирующие сопряжения. Разработаны планы контактной сети станции и перегона (длина анкерного участка 1 НК станции составила 1029 м). Выполнен механический расчет анкерного участка 1 НК станции. Расчетным режимом для анкерного участка выбран режим «минимальная температура», натяжение несущего троса при беспровесном положении контактных проводов составило 14993 Н, натяжение несущего троса в режиме «гололед с ветром» составило 15345 Н, в режиме «максимальный ветер» – 13248 Н. Минимальная стрела провеса несущего троса в пролете 65 м составила 0,868 м, контактных проводов – -0,057 м. Максимальная стрела провеса несущего троса в пролете 65 м составила 1,438 м, контактных проводов – 0,087 м. На станции выбран способ прохода пешеходного моста без крепления к перекрытию моста с установкой отбойников несущего троса. Высота низа конструкции моста задана 7,8 м, максимальная высота несущего троса под мостом – 7,506 м.

4. Выполнен расчет несущей способности опоры на прямом участке перегона. Изгибающий момент на уровне условного обреза фундамента (в режиме «максимальный ветер») составил 37977 Н·м.

5. В специальной части дипломного проекта приведено обоснование необходимости производства контроля износа контактных проводов ввиду влияния износа проводов на надежность работы участка контактной сети (недопустимый износ может стать причиной разрыва контактных проводов и возникновения аварийной ситуации, снижение натяжения проводов ухудшает

качество токосъема). Рассмотрена специфика процесса износа, определены типы износа (электрический и механический), приведены наиболее влияющие факторы (масса элементов на контактном проводе) и наиболее значимые участки для контроля износа (перегоны).

Рассмотрена технология измерения износа контактного провода и возникающие при этом сложности (превышение износа в любой из точек анкерного участка приводит к повреждению и выходу из строя всего участка, контактная сеть является линейным объектом большой протяженности).

Проанализированы данные по износу контактного провода, рассчитаны вероятностные характеристики выборок износа контактного провода для прямого участка пути и в кривых с центром слева и справа. Произведен анализ полученных результатов (износ контактных проводов, расположенных ближе к оси пути выше, так как они расположены дальше на дополнительном фиксаторе, поэтому поворот дополнительного фиксатора вызывает больший износ).

6. В ходе выполнения экономической части дипломного проекта были рассчитаны явочная (35 чел.) и списочная (39,76 чел.) численности работников ЭЧК развернутой длиной 170 км. Общий годовой ФОТ работников ЭЧК составил 16720501,25 р. Проведен расчет затрат на оплату труда работников РРУ. Затраты составили 24369,32 р. Годовые эксплуатационные затраты на текущее содержание и ремонт проектируемого участка контактной сети развернутой длиной 16,458 км составили 6922254,61 р. Из них 2314014,61 р. составили расходы по техническому обслуживанию и текущему ремонту контактной сети, 2304120,00 р. – расходы на капитальный ремонт контактной сети и 2304120,00 р. – амортизационные отчисления.

7. В первой части раздела «Безопасность и экологичность проекта» была рассмотрена безопасность выполнения работ по измерению износа контактного провода, отражены опасные воздействия на персонал при работе на контактной сети и описана актуальность проблемы обеспечения безопасности персонала (выполнение работ вблизи частей под напряжением, движение поездов по обслуживаемому и соседним путям).

Во второй части раздела изучено соответствие проекта нормам, изложенным в инструкциях по безопасности и экологии. Приведена характеристика опасных и вредных производственных факторов, определяющих условия труда при работах на контактной сети, их предельные значения. Рассмотрены меры, применяемые для безопасности производственного оборудования и производственных процессов. Разработаны требования промышленной санитарии и экологической безопасности. Описаны меры безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Разработанный проект соответствует всем нормам и требованиям безопасности. Безопасность персонала обеспечивается строгим выполнением предписанных норм и правил безопасности в технологическом процессе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Контактные сети и ЛЭП : учеб.-метод. пособие / А. В. Ефимов [и др.] ; под ред. А.В. Ефимова. – Екатеринбург : УрГУПС, 2009. – 88 с.
2. СТН ЦЭ 141-99. Нормы проектирования контактной сети. – М. : МПС, 2001. – 259 с.
3. ЦЭ-868. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. – М. : «Трансиздат», 2001. – 184 с.
4. ЦЭ-191. Инструкция по заземлению устройств энергоснабжения на электрифицированных железных дорогах. – М. : ОАО «РЖД», 2003. – 29 с.
5. Марквардт К. Г. Контактная сеть : Учебник для вузов ж.-д. трансп. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1994. – 335 с.
6. Фрайфельд А.В. Проектирование контактной сети. – 2-е издание, перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1984. – 327 с.
7. Фрайфельд А.В. Устройство, сооружение и эксплуатация контактной сети и воздушных линий : Учебник для техн. школ ж.-д. трансп. / А.В. Фрайфельд, Н.А. Бондарев, А.С. Марков – М. : Транспорт, 1986. – 336 с.
8. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередачи: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М. : Маршрут, 2003. – 416 с.
9. Бондарев Н.А. Контактная сеть: Учебник для студентов техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. / Н.А. Бондарев, В.Е. Чекулаев – М. : Маршрут, 2006. – 590 с.
10. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). 2-е изд. перераб. и доп. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 415 с.
11. Рекомендации по применению противопучинных устройств для металлических завинчиваемых фундаментов опор контактной сети на вечномерзлых грунтах. ОАО «РЖД», 2005. – 13 с.
12. Алексеева Л.М. Расчет годовых эксплуатационных затрат на текущее содержание и ремонт проектируемого участка контактной сети: Методические рекомендации. – Екатеринбург : УрГУПС, 2008. – 16 с.
13. Экономика железнодорожного транспорта / под ред. Н.П. Терешинной. – М. : Транспорт, 2011. – 425 с.
14. Пресс-релиз ОАО «РЖД». Заработная плата работников ОАО "РЖД" проиндексирована на 2,2% с 1 марта [Электронный ресурс]. – URL: http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=654&layer_id=4069&id=91431 (дата обращения 01.03.2018)
15. Белинский С.О. Безопасность и экологичность при проектировании и эксплуатации электроустановок : методическое пособие / С.О. Белинский, К.Б. Кузнецов. – Екатеринбург : УрГУПС, 2006. – 35 с.
16. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2014. – 120 с.

17. Правила безопасности при эксплуатации контактной сети и устройств электроснабжения автоблокировки железных дорог ОАО "РЖД" №103 – М. : ОАО «РЖД», 2010. – 88 с.
18. Инструкция по безопасности для электромонтеров контактной сети №104. – М. : ОАО «РЖД», 2010. – 246 с.
19. Инструкция по безопасности при эксплуатации электроустановок тяговых подстанций и районов электроснабжения железных дорог №4054 – М. : Трансиздат, 2008. – 192 с.
20. ЦЭ-868–П5/3. Технологические карты на работы по техническому содержанию и ремонту устройств контактной сети и воздушных линий электропередачи электрифицированных железных дорог. – М. : Трансиздат, 2012. – 356 с.
21. Кузнецов К.Б. Электробезопасность в электроустановках железнодорожного транспорта / К.Б. Кузнецов, А.С. Мишарин. – Екатеринбург : Изд-во УрГАПС, 1999. – 425 с.
22. Чекулаев В.Е. Охрана труда и электробезопасность: учебник / В.Е. Чекулаев, Е.Н. Горожанкина, В.В. Лепеха. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 304 с.
23. Охрана труда и основы экологии на железнодорожном транспорте и в транспортном строительстве / под ред. В.С. Крутякова – М. Транспорт, 1993. – 280 с.
24. Федеральный закон от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 23.06.2014) "О специальной оценке условий труда". – М. : Изд-во стандартов, 2013. – 2 с.
25. Приказ Минтруда России №33н от 24 января 2014 г. «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению»
26. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М. : Изд-во стандартов, 2017. – 15 с.
27. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах". – М. : Изд-во стандартов, 2017. – 25 с.
28. СН 2.2.4./2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий и территории жилой застройки». – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 14 с.
29. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1) – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 39 с.
30. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1) – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 22 с.

31. ГОСТ Р 12.1.009-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения – М. : Изд-во стандартов, 2011. – 12 с.
32. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 52 с.
33. Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда – М. : Изд-во стандартов, 2005. – 47 с.
34. ГОСТ 12.4.024-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования (с Изменением N 1) – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 19 с.
35. Приказ Минтруда России от 28.03.2014 №155н (ред. от 17.06.2015) "Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте". – М. : Изд-во стандартов, 2015. – 2 с.
36. Примазонов А. М. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте / А.М. Примазонов [и др.] / под ред. А.М. Примазонова. – М. : Маршрут, 2006. – 456 с.
37. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ – М. : Изд-во стандартов, 2008. – 2 с.
38. Приказ №533 от 12.11.2013 г. об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения". – М. : Изд-во стандартов, 2013. – 2 с.
39. Инструкция по защите железнодорожных подземных сооружений от коррозии блуждающими токами. – М. : Трансиздат, 1999. – 34 с.
40. СО153-34.03.603-2003. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках. – М. : Минэнерго России, 2003. – 58 с.
41. Чекулаев В.Е. Контактная сеть и воздушные линии. Нормативно-методическая документация по эксплуатации контактной сети и ВЛ. Справочник. – М.: Транспорт, 2001. – 476 с.
42. Приказ №533 от 12 ноября 2013 г. «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М. : Изд-во стандартов, 2013. – 2 с.
43. Распоряжение №2628р от 20 декабря 2010 г. «Об утверждении концепции корпоративной безопасности ОАО «РЖД» в условиях реформирования». – М. : ОАО «РЖД», 2013. – 2 с.