

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**Уральский государственный университет путей сообщения  
(ФГБОУ ВО УрГУПС)**

Факультет Электромеханический

Кафедра Электроснабжение транспорта

Допускается к защите:

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент Ковалев А.А.

«21» июня 2019 г.

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема: Проект участка контактной сети постоянного тока с применением  
ограничителей перенапряжения

(пояснительная записка)

23.05.05.22.ПД.СОэ514.01.ПЗ

(обозначение документа)

Разработал: студент СОэ514 Емельянов Д.Р.  
(обучающийся) (группа) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Руководитель: к.т.н., доцент Паранин А.В.  
(подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Консультанты: к.т.н., доцент Афанасьева Н.А.  
(подпись) (дата) (Ф.И.О.)

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

Н. контролер: доцент Окунев А.В.  
(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 Электромеханический Кафедра Электроснабжение транспорта

Специальность 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

к.т.н., доцент Ковалев А.А.

« 21 » февраль 2019 г.

**Задание**

**на дипломный проект студенту**

Емельянову Денису Руслановичу

(фамилия, имя, отчество)

1 Тема проекта Проект участка контактной сети постоянного тока с применением ограничителей перенапряжения

утверждена приказом по университету от «27» февраля 2019 г. № 338-со

2 Срок сдачи студентом законченного проекта 21.06.2019

3 Исходные данные к проекту приведены в разделе 1

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

1. Проект перегона и станции контактной сети

2. Анализ конструктивных особенностей и условий эксплуатации ограничителей перенапряжения

3. Расчет стоимости содержания проектируемого участка контактной сети

4. Безопасность жизнедеятельности





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

1. План контактной сети перегона.

2. План контактной сети станции.

3. Конструкция ОПН

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

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		задание выдал	задание принял
Экономический	Афанасьева Н.А.	20.04.2019 	
Безопасность жизнедеятельности	Белинский С.О.	25.04.2019 	

7 Дата выдачи задания \_\_\_\_\_ 25.03.2019

Руководитель \_\_\_\_\_  / Паранин А.В.  
(подпись)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_  / Емельянов Д.Р.  
(подпись)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН  
FOR EVALUATION ONLY

Наименование этапов дипломного проекта (работы)	Срок выполнения этапов проекта (работы)	Примечание
Сбор исходных данных для выполнения ВКР	25.03.19	выполнено
Постановка целей и задач ВКР, написание введения	25.03.19	выполнено
Разработка основной части ВКР	31.03.19	выполнено
Разработка специальной части ВКР	14.04.19	выполнено
Разработка раздела по экономической части ВКР	01.05.19	выполнено
Разработка раздела по БЖД	15.05.19	выполнено
Подготовка графической части ВКР	20.05.19	выполнено
Оформление ВКР	26.05.19	выполнено
Подписание ВКР у консультантов	05.06.19	выполнено
Подписание ВКР у руководителя	10.06.19	выполнено
Проверка ВКР на плагиат	10.06.19-16.06.19	выполнено
Нормоконтроль ВКР	10.06.19-16.06.19	выполнено
Сдача ВКР на кафедру	21.06.19	выполнено
Утверждение ВКР у заведующего кафедрой	17.06.19-21.06.19	выполнено
Получение рецензии на ВКР	17.06.19-21.06.19	выполнено
Защита ВКР	01.07.19-08.07.19	выполнено

Руководитель \_\_\_\_\_ (подпись)

студент - дипломник \_\_\_\_\_ (подпись)

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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

*[Подпись]*  
к.т.н., доцент Ковалев А.А.

« 27 » февраля 2019 г.

**Задание  
на специальный раздел ВКР**

Студент Емельянов Денис Русланович Группа СОэ-514  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Расчет стоимости содержания проектируемого участка контактной сети  
(название специального раздела)

1. Тема Проект участка контактной сети постоянного тока с применением ограничителей перенапряжения

(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от «27» февраля 2019 г. № 338-со

Выпускающая кафедра Электроснабжение транспорта

Руководитель проекта к.т.н., доцент Паранин А.В.

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

2. Консультант раздела к. т. н., доцент Афанасьева Н.А.

Кафедра, ведущая специальный раздел Экономика транспорта

3. Исходные данные: получены по месту практики

4. Срок сдачи студентом законченного раздела \_\_\_\_\_

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1) Расход связанный с содержанием контактной сети

2) Расчет затрат на оплату труда и содержания участка

7. Дата выдачи задания 27 02 19 Консультант *[Подпись]* Н.А. Афанасьева  
(подпись)

Согласовано: \_\_\_\_\_ *[Подпись]* А.В. Паранин  
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению \_\_\_\_\_ *[Подпись]* Д.Р. Емельянов  
(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:

Зав. кафедрой

*[Подпись]*  
к.т.н., доцент Ковалев А.А.

«22» февраля 2019 г.

**Задание  
на специальный раздел ВКР**

Студент Емельянов Денис Русланович Группа СОЭ-514  
(Фамилия, Имя, Отчество)

Безопасность жизнедеятельности

(название специального раздела)

1. Тема Проект участка контактной сети постоянного тока с применением ограничителей перенапряжения

(название темы ВКР)

Утверждена приказом по университету от «27» февраля 2019 г. № 338-со

Выпускающая кафедра Электроснабжение транспорта

Руководитель проекта к.т.н., доцент Паранин А.В.

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

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

Кафедра, ведущая специальный раздел Техносферная безопасность

3. Исходные данные: получены по месту практики

4. Срок сдачи студентом законченного раздела \_\_\_\_\_

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1) Безопасность работ при устранении повреждений ограничителей перенапряжения

2) Экспертиза дипломного проекта на соответствие требованиям безопасности и экологичности

7. Дата выдачи задания 27 02 19 Консультант *[Подпись]* С.О. Белинский  
(подпись)

Согласовано: *[Подпись]* А.В. Паранин  
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению *[Подпись]* Д.Р. Емельянов  
(дата и подпись студента-дипломника)

FOR EVALUATION ONLY

**РЕФЕРАТ**

В данном дипломном проекте всего: 73 стр., 12 табл., использованных источников 11, 3 чертежа и 4 приложения.

**КОНТАКТНАЯ СЕТЬ, ПЕРЕГОН, НЕСУЩИЙ ТРОС, ГАБАРИТ, ВЕТРОВАЯ НАГРУЗКА, АНКЕРНЫЙ УЧАСТОК, ОГРАНИЧИТЕЛЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ, СТОИМОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.**

*CONTACT NETWORK, STAGE, SUSPENSION, SIZE, WIND LOAD, CURRENT COLLECTOR, COST OF MAINTENANCE, LIFE SAFETY.*

**Объект исследования:** Участок контактной сети постоянного тока

**Цель:** Рассмотреть принцип работы ограничителей перенапряжения. Доказать преимущество перед разрядниками.

**Экономическая эффективность:** Произведен расчет стоимости содержания проектируемого участка контактной сети. 7563786,23 рублей.

					<b>23.05.05.22.ПД.СОэ-514.01.ПЗ</b>			
Изм.	Лист.	№ докум.	Подп.	Дата.	Проект участка контактной сети постоянного тока с применением ограничителей перенапряжения	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Емельянов Д.Р.	<i>Д.Р.</i>	21.06		У	7	73
Пров.		Паранин А.В.	<i>А.В.</i>	21.06				
Т. контр.								
Н. контр		Окунев А.В.	<i>А.В.</i>	2006				
Утв.		Ковалев А.А.	<i>А.А.</i>	2006				
					ФГБОУ ВО УрГУПС Кафедра «Электроснабжение транспорта»			

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

## ОТЗЫВ

на выпускную квалификационную работу студента факультета ЭМФ

специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов  
специализации Электроснабжение железных дорог  
Емельянова Дениса Руслановича

Руководитель доцент, к.т.н., Паранин Александр Викторович  
(ученая степень, ученое звание, должность, фамилия, имя, отчество)

Тема: Проект участка контактной сети постоянного тока с применением  
ограничителей перенапряжения

Соответствие содержания ВКР заданию: Содержание дипломного проекта в  
полной мере соответствует заданию.

Характеристика проделанной работы по всем ее разделам: В основной части  
ВКР по заданным исходным данным спроектирована контактная сеть  
переменного тока станции и перегона. В детали ВКР описаны характеристики,  
конструкция и требования, предъявляемые к ограничителям перенапряжения  
контактной сети. Описаны преимущества их по сравнению с роговыми  
разрядниками. Выполнен раздел по экономике с расчетом эксплуатационных  
расходов на содержание спроектированного участка контактной сети. В  
разделе безопасности жизнедеятельности доказано, что дипломный проект  
соответствует требованиям безопасности и экологичности.

Полнота раскрытия темы: Тема ВКР раскрыта в достаточной мере.

Теоретический уровень и практическая значимость ВКР: ВКР выполнена на  
приемлемом теоретическом уровне с использованием широко используемых  
классических положений теории и расчета контактной сети. Данные  
положения отражены в нормативных технических документах по  
проектированию контактной сети СТИ ЦЭ-141-99. Практическая значимость  
работы не вызывает сомнения в связи необходимостью защиты контактной  
сети от атмосферных перенапряжений.




FOR EVALUATION ONLY

Степень самостоятельности и творческой инициативы студента-дипломника, его деловые качества: Студент-дипломник проявил приемлемую степень самостоятельности. Руководитель ВКР часто направлял и корректировал его работу.

Качество оформления ВКР: ВКР в целом соответствует установленным государственным, ведомственным и стандартам предприятия, касающихся оформления технической документации, в частности текстовых и графических документов.

Возможность допуска студента-дипломника к защите ВКР и рекомендуемая оценка: Считаю, что данная ВКР соответствует требованиям, установленным к выпускным квалификационным работам, а ее автор Емельянов Денис Русланович заслуживает при соответствующей защите оценку «удовлетворительно».

Дата 21 06 19

  
(подпись)

Введение.....	10
1 Расчет участка контактной сети .....	12
1.1 Исходные данные .....	12
1.2 Анализ исходных данных.....	12
1.3 Определение нагрузок на провода контактной сети .....	13
1.4 Определение натяжения проводов .....	18
1.5 Схема питания и секционирования .....	18
1.6 План контактной сети.....	20
1.7 Механический расчет анкерного участка полукompенсированной цепной подвески .....	20
1.8 Расчет и выбор опор на перегоне .....	40
2 Анализ конструктивных особенностей и условий эксплуатации ограничителей перенапряжения.....	47
2.1 Устройство и принцип действия .....	47
2.2 Виды ОПН.....	48
2.3 Технические характеристики .....	50
2.4 Обслуживание и диагностика ОПН .....	51
2.5 Преимущества ОПНп перед разрядниками и ОПН модульной последовательно-параллельной конструкции .....	52
3 Расчет стоимости содержания проектируемого участка контактной сети .....	55
3.1 Расходы, связанные с содержанием контактной сети .....	55
3.2 Расчет затрат на оплату труда.....	59
3.3 Выводы по разделу: .....	63
4. Безопасность жизнедеятельности.....	64

4.1 Безопасность работ при устранении повреждений ограничителей перенапряжения электроподвижного состава.....	64
4.2 Экспертиза дипломного проекта на соответствие требованиям безопасности и экологичности.....	68
4.3 Выводы по разделу.....	71
Заключение .....	72
Список использованных источников .....	73
Приложение А- Результаты линейных нагрузок .....	75
Приложение Б- Схема питания и секционирования.....	82
Приложение В- Вольтамперная характеристика ОПН.....	83
Приложение Г- Расчет заработной платы по содержанию контактной сети.....	84

## ВВЕДЕНИЕ

Контактная сеть является важнейшим элементом системы тягового электроснабжения электрического транспорта. От надежной работы контактной сети во многом зависит успешное выполнение основной функции железнодорожного транспорта - своевременная перевозка пассажиров и грузов в соответствии с заданным графиком движения.

Главная задача контактной сети - передача электроэнергии подвижному составу за счет надежного, экономичного и экологически чистого токосъема в расчетных метеоусловиях при установленных скоростях движения, типах токоприемников и значениях передаваемого тока.

Основным элементами контактной сети с контактной подвеской являются провода контактной сети (контактный провод, несущий трос, усиливающий провод и пр.), опоры, поддерживающие устройства (консоли, гибкие поперечины и жёсткие поперечины) и изоляторы.

При проектировании контактной сети выбирают число и марку проводов, исходя из результатов расчетов системы тягового электроснабжения, а также тяговых расчетов; определяют тип контактной подвески в соответствии с максимальными скоростями движения электроподвижного состава и другими условиями токосъема; находят длины пролета; выбирают длину анкерных участков, типы опор и поддерживающих устройств для перегонов; разрабатывают конструкции контактной сети в искусственных сооружениях; размещают опоры и составляют планы контактной сети на станциях и перегонах с согласованием зигзагов проводов и учетом выполнения воздушных стрелок и элементов секционирования контактной сети (изолирующих сопряжений анкерных участков и нейтральных вставок, секционных изоляторов и разъединителей).

Задачи дипломного проекта:  
FOR EVALUATION ONLY

- произвести расчет нагрузок от веса контактной подвески, натяжения проводов, составить проект участка контактной сети, провести механический расчет, определить стрелы провеса проводов контактной подвески, выбрать опоры контактной сети и оборудование;
- рассмотреть конструкцию и принцип работы ограничителей перенапряжения ;
- определить расходы на проектируемый участок контактной сети;
- рассмотреть безопасность при эксплуатации ограничителей перенапряжения.

# 1 Расчет участка контактной сети

## 1.1 Исходные данные

### 1.1.1 Характеристика цепной подвески

Род тока	постоянный.
Тип подвески	полукомпенсированная.
Марка проводов контактной подвески:	
- главные пути станции	М-120 + 2МФ-100 + 2А-185.
- боковые пути станции	ПБСМ-70 + МФ-100.
- перегон	М-120 + 2МФ-100 + 2А-185.
Метеорологические условия	
Климатическая зона	I.
Ветровой район	III.
Гололедный район	I.

## 1.2 Анализ исходных данных

На основании данных метеорологических условий выбираем основные климатические параметры:

- диапазон температур	$t_{min} = -47^{\circ}C, t_{max} = 48^{\circ}C.$
- максимальная скорость ветра	$V = 29^M/c.$
- толщина стенки гололеда	$b_r = 5 \text{ мм}.$

## 1.3 Определение нагрузок на провода контактной сети

### 1.3.1 Нагрузка от собственного веса

Расчет линейных нагрузок выполняем для контактной подвески главного пути станции.

Нагрузка от собственного веса одного метра контактной подвески определяется по формуле:

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

где  $g_n$  - нагрузка от собственного веса несущего троса,  $\frac{H}{M}$ ;

$g_k$  - то же, но от контактного провода,  $\frac{H}{M}$ ;

$g_c$  - то же, но от струн и зажимов,  $g_c = 1 \frac{H}{M}$ ;

$n_k$  - число контактных проводов.

Нагрузка от собственного веса несущего троса или контактного провода определяется по формуле:

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

где  $S_i$  - площадь поперечного сечения провода,  $m^2$ ;

$\gamma_i$  - плотность материала провода,  $\frac{кг}{M^3}$ ;

$k_n$  - коэффициент, учитывающий конструкцию провода, для цельного провода  $k_n = 1$ , для многопроволочного (троса)  $k_n = 1,025$ .

$$g_k = 9,81 \cdot 8900 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 8,73 \frac{H}{M};$$

$$g_n = 9,81 \cdot 8900 \cdot 1,025 \cdot 117 \cdot 10^{-6} = 10,47 \frac{H}{M};$$

$$g = 10,47 + 2 \cdot (8,73 + 1) = 29,93 \text{ Н/м}.$$

### 1.3.2 Нагрузка от веса гололеда

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

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

где  $b_r$  - толщина стенки гололеда, м;

$d_i$  - диаметр провода, м.

Расчетное значение толщины стенки гололеда определяется по формуле:

$$b_{ri} = k_r \cdot b^H, \quad (1.4)$$

где  $k_r$  - коэффициент, учитывающий диаметр провода, высоту его подвешивания и рекомендации /3/ по учету местных условий. На станции  $k_r = 0,75$ ; на перегоне – 1,0; на насыпи – 1,25.

$b^H$  - толщина гололедного слоя в соответствии с заданием, м.

Вес гололеда на контактном проводе, учитывая удаление его эксплуатационным персоналом и токоприемником, уменьшается на 50%.

Расчетный диаметр провода берется усредненный из высоты и ширины его сечения и определяется по формуле:

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



где  $H$  — высота сечения провода, м;  
 $A$  — ширина сечения провода, м.

Вес гололеда на струнах не учитываем.

Суммарный вес одного метра контактной подвески с гололедом определяется по формуле:

$$g_{\Gamma} = (g_{\kappa} + g_{\Gamma\kappa}) \cdot n + g_{\text{H}} + g_{\Gamma\text{H}}, \quad (1.6)$$

где  $g$  — вес контактной подвески,  $\text{H}/\text{M}$ ;

$g_{\Gamma\text{H}}, g_{\Gamma\kappa}$  — вес гололеда на несущем тросе и контактном проводе, соответственно,  $\text{H}/\text{M}$ .

$$b_{\Gamma\kappa} = \frac{0,75 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{2} = 1,875 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$b_{\Gamma\text{H}} = 0,75 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$d_{\text{cp}} = \frac{(12,81 + 11,80) \cdot 10^{-3}}{2} = 12,31 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$g_{\Gamma\text{H}} = 27,7 \cdot 3,75 \cdot 10^{-3} \cdot (14 \cdot 10^{-3} + 3,75 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^3 = 1,84 \text{ H}/\text{M};$$

$$g_{\Gamma\kappa} = 27,7 \cdot 1,875 \cdot 10^{-3} \cdot (12,31 \cdot 10^{-3} + 1,875 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^3 = 0,74 \text{ H}/\text{M};$$

$$g_{\Gamma} = (8,73 + 0,74) \cdot 2 + 10,47 + 1,84 = 31,25 \text{ H}/\text{M}$$

### 1.3.3 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, м/с;

$C_x$  - аэродинамический коэффициент лобового сопротивления, зависящий от формы и положения поверхности объекта, /2/;

$d_i$  - диаметр провода, для контактного провода высота его сечения (Н), м.

$$p_{vн} = 0,615 \cdot 26,1^2 \cdot 1,25 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 7,33 \text{ Н/м};$$

$$p_{vк} = 0,615 \cdot 26,1^2 \cdot 1,55 \cdot 11,80 \cdot 10^{-3} = 7,66 \text{ Н/м}.$$

Ветровая нагрузка при наличии на проводе гололеда определяется по формуле:

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

где  $V_r$  - расчетная скорость ветра при гололеде, она равна  $V_r = 0,6 \cdot V_p$ , м/с;

$k_b$  - поправочный ветровой коэффициент, зависящий от характера местности и параметра шероховатости. На станции  $k_b = 0,9$ ; на перегоне – 1,0; на насыпи – 1,25.

$$p_{гн} = 0,615 \cdot (26,1 \cdot 0,6)^2 \cdot 1,25 \cdot (14 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 3,75 \cdot 10^{-3}) = 4,05 \text{ Н/м};$$

$$p_{гк} = 0,615 \cdot (26,1 \cdot 0,6)^2 \cdot 1,55 \cdot (11,80 \cdot 10^{-3} + 3,75 \cdot 10^{-3}) = 3,64 \text{ Н/м}.$$

### 1.3.4 Результирующие нагрузки

Результирующая нагрузка на несущий трос цепной подвески определяется без учета ветровой нагрузки на контактный провод, так как ее основная часть воспринимается фиксаторами и определяется по формуле:

$$q_{\text{н}} = \sqrt{g^2 + p_{\text{вн}}^2}. \quad (1.9)$$

$$q_{\text{н}} = \sqrt{(8,73 + 1) \cdot 2 + 10,47)^2 + 7,33^2} = 30,81 \text{ Н/м}.$$

Результирующая нагрузка на контактный провод при отсутствии гололеда определяется по формуле:

$$q_{\text{к}} = \sqrt{g_{\text{к}}^2 + p_{\text{вк}}^2}. \quad (1.10)$$

$$q_{\text{к}} = \sqrt{8,73^2 + 7,66^2} = 11,61 \text{ Н/м}.$$

При совместном воздействии гололеда с ветром результирующая нагрузка на несущий трос определяется по формуле:

$$q_{\text{гн}} = \sqrt{g_{\text{г}}^2 + p_{\text{гн}}^2}. \quad (1.11)$$

$$q_{\text{гн}} = \sqrt{31,25^2 + 4,05^2} = 31,51 \text{ Н/м}.$$

При совместном воздействии гололеда с ветром результирующая нагрузка на контактный провод определяется по формуле:

$$q_{\text{гк}} = \sqrt{(g_{\text{к}} + g_{\text{гк}})^2 + p_{\text{гк}}^2}. \quad (1.12)$$

$$q_{\text{гк}} = \sqrt{(8,73 + 0,74)^2 + 3,64^2} = 10,15 \text{ Н/м}.$$

Расчет линейных нагрузок для контактных подвесок боковых путей станции, перегона, а также расчет линейных нагрузок для усиливающего провода на станции и перегоне выполняется аналогично. Результаты расчетов сведем в приложение А

#### 1.4 Определение натяжения проводов

Для главных путей станции максимальное допустимое натяжения несущего троса  $T_{\text{д}} = 20000\text{Н}$ ., номинальное натяжение контактного провода  $K = 10000\text{Н}$ . Натяжение несущего троса при беспровесном состоянии контактного провода предварительно принимаем  $T_{\text{о}} = 0,8 \cdot T_{\text{д}} = 0,8 \cdot 2000 = 16000\text{Н}$ . При ветре максимальной интенсивности натяжение несущего троса предварительно принимаем  $T_{\text{в}} = 0,7 \cdot T_{\text{д}} = 0,7 \cdot 2000 = 14000\text{Н}$ .

Для боковых путей станции максимальное допустимое натяжения несущего троса  $T_{\text{д}} = 16000\text{Н}$ ., номинальное натяжение контактного провода  $K = 10000\text{Н}$ . Натяжение несущего троса при беспровесном состоянии контактного провода предварительно принимаем  $T_{\text{о}} = 0,8 \cdot T_{\text{д}} = 0,8 \cdot 16000 = 12800\text{Н}$ . При ветре максимальной интенсивности натяжение несущего троса предварительно принимаем  $T_{\text{в}} = 0,75 \cdot T_{\text{д}} = 0,75 \cdot 16000 = 12000\text{Н}$ .

#### 1.5 Схема питания и секционирования

Под секционированием контактной сети понимают деление ее на секции, электрически независимые друг от друга.

Основная цель секционирования – сделать наиболее надежной работу

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

контактной сети и более удобной ее в эксплуатацию.

Схема питания и секционирования контактной сети должна обеспечивать:

- возможно меньшие потери напряжения и электроэнергии в сети при нормальном режиме работы электрифицированного участка;
- минимальные нарушения графика движения поездов при отказе или выводе из работы какой – либо секции.

Число питающих линий, отходящих от тяговой подстанции, равно 5, то есть для питания контактной сети станционных путей предусматривается отдельный фидер Ф3, а для питания контактной сети перегонов фидера Ф1, Ф2 и Ф4, Ф5 соответственно.

Так как длина питающих линий перегонов более 750 м, то предусматривается перед подключением к контактной сети установка линейных разъединителей Фл1, Фл2 и Фл4, Фл5 соответственно с моторными приводами.

На станции осуществляется продольное и поперечное секционирование. Продольное секционирование выполняется трехпролетными изолированными сопряжениями в горловинах станции и пятипролетным неизолированным сопряжением в середине станции. В местах сопряжения устанавливаются продольные секционные разъединители А, Б, В, Г. Нормальное положение этих разъединителей – нормально отключенное. Поперечное секционирование выполняется секционными изоляторами и поперечными разъединителями.

Схема питания и секционирования контактной сети приведена в приложении Б.

## **1.6 План контактной сети**

### **1.6.1 План контактной сети станции**

План контактной сети станции составляется в следующем порядке:

- подготовка плана станции;
- размещение опор в горловинах, по концам и в средней части станции;
- разбивка анкерных участков;
- расстановка зигзагов;
- трассировка питающих и отсасывающих линий;
- выбор опор и поддерживающих конструкций;
- обработка плана контактной сети и составление необходимых спецификаций.

### **1.6.2 План контактной сети перегона**

План перегона контактной сети составляется следующим образом:

- подготовка плана перегона, разбивка опор и анкерных участков;
- расстановка зигзагов;
- трассировка усиливающих и других проводов;
- выбор типов опор и поддерживающих конструкций;
- обработка плана контактной сети перегона и составление необходимых спецификаций.

## **1.7 Механический расчет анкерного участка полукомпенсированной цепной подвески**

Основной целью механического расчета цепной подвески является составление монтажных кривых и таблиц.

### 1.7.1 Механический расчет анкерного участка главного пути станции

Для расчета выбираем анкерный участок  $I^6$  главного пути станции. Его длина составляет  $L_a = 1202$  м.

#### 1.7.1.1 Определение длины расчетного эквивалентного пролета.

Расчетный эквивалентный пролет определяется по формуле:

$$L_э = \sqrt{\sum_{i=1}^n L_i^3 / L_a}, \quad (1.13)$$

где  $L_i$  - длина  $i$ -го пролета, м;

$L_a$  - длина анкерного участка, м;

$n$  - число пролетов.

$$L_э = \sqrt{\frac{60^3 \cdot 6 + 55^3 + 53^3 \cdot 4 + 45^3 \cdot 3 + 48^3 + 42^3 + 41^3 \cdot 3 + 43^3 + 46^3 + 50^3 \cdot 2 + 38^3}{1202}} = 51,4 \text{ м.}$$

#### 1.7.1.2 Определение длины критического пролета

Устанавливаем исходный режим, при котором возможно наибольшее натяжение несущего троса. Для этого определяем величину критического пролета по формуле:

$$L_{кр} = Z_{max} \sqrt{24\alpha(t_r - t_{min}) / (W_r^2 - W_{t_{min}}^2)}, \quad (1.14)$$

где  $Z_{max}$  - максимальное приведенное натяжение подвески, Н;

$t_r, t_{min}$  - температура при гололеде и минимальная температура соответственно, °С;

$W_r, W_{min}$  - приведенные линейные нагрузки на подвеску,

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

соответственно, при гололеде с ветром и при минимальной температуре, Н/м;

$\alpha$  - температурный коэффициент линейного расширения материала несущего троса,  $1/^\circ\text{C}$ .

Для эквивалентного пролета и режима  $x$  приведенные величины  $Z_x$  и  $W_x$  вычисляются по формулам:

$$Z_x = T_x + \phi_x K, \quad (1.15)$$

$$W_x = q_x (1 + g \cdot \phi_x \cdot K / g_x \cdot T_0), \quad (1.16)$$

где  $g_x$  и  $q_x$  - соответственно, вертикальная и результирующая нагрузки на несущий трос в режиме  $x$ , Н/м;

$\phi_x$  - конструктивный коэффициент цепной подвески;

$K$  - натяжение контактного провода, Н;

$T_0$  - натяжение несущего троса при беспровесном положении контактного провода, Н.

Конструктивный коэффициент цепной подвески определяется по формуле:

$$\phi_x = \frac{\lambda}{1 + (1 - \lambda)K / T_x}, \quad (1.17)$$

$$\lambda = (L_s - 2 \cdot c)^2 / L_s^2, \quad (1.18)$$

где  $c$  - расстояние от оси опоры до первой простой струны, равное 10 м.

$$\lambda = \frac{(51,4 - 2 \cdot 10)^2}{51,4^2} = 0,373;$$



MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

$$\phi_x = \frac{0,373}{1 + (1 - 0,373) \cdot \frac{20000}{20000}} = 0,229;$$

$$Z_{max} = 20000 + 0,229 \cdot 20000 = 24580 \text{ Н};$$

$$W_r = 31,51 \cdot \left( 1 + \frac{29,93 \cdot 0,229 \cdot 20000}{31,25 \cdot 16000} \right) = 40,2 \text{ Н/М};$$

$$W_{t_{min}} = 29,93 \cdot \left( 1 + \frac{0,229 \cdot 20000}{16000} \right) = 38,4 \text{ Н/М};$$

$$L_{кр} = 24580 \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - (-47))}{40,2^2 - 38,4^2}} = 270,5 \text{ м.}$$

Так как расчетный пролет  $L_3$  меньше критического  $L_{кр}$  ( $51,4\text{м} < 270,5\text{м}$ ), то максимальное натяжение несущего троса будет при минимальной температуре.

### 1.7.1.3 Определение температуры бес провешного состояния контактного провода

Температура бес провешного состояния контактного провода определяется по формуле:

$$t_0 = t_{cp} - t', \quad (1.19)$$

где  $t_{cp}$  - среднегодовая температура района, °С;

$t'$  - коррекция на отжатие контактного провода токоприемником в середине пролета, при двойном контактном проводе  $t' = 15...20$  °С.

$$t_0 = \frac{-47 + 38}{2} - 15,5 = -20^\circ\text{C}.$$

#### 1.7.1.4 Определение натяжения несущего троса при бес провесном положении контактного провода

Натяжение несущего троса при бес провесном положении контактного провода определяется по формуле:

$$t_0 = A_1 + B_0/T_0^2 - T_0/(\alpha_n E_n S_n); \quad (1.20)$$

$$A_1 = t_1 - q_1^2 L_3^2 / (24 \alpha_n T_{max}^2) + T_{max} / (\alpha_n E_n S_n); \quad (1.21)$$

$$B_0 = q_0^2 L_3^2 / (24 \alpha_n). \quad (1.22)$$

В формулах (1.20) - (1.22) величины с индексом "1" относятся к режиму максимального натяжение несущего троса, а с индексом "0" – к режиму бес провесного положения контактного провода. Индекс "н" относится к материалу несущего троса.

$$A_1 = -47 - \frac{29,93^2 \cdot 51,4^2}{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6} \cdot 20000^2} + \frac{20000}{253,60} = 17,36;$$

$$B_0 = \frac{29,93^2 \cdot 51,4^2}{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6}} = 5800,66 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_0 = 15550$  Н, тогда

$$t_0 = 17,36 + \frac{5800,66 \cdot 10^6}{15550^2} - \frac{15550}{253,6} = -20^\circ\text{C}.$$

Уточненное натяжение несущего троса при беспровесном положении контактного провода составляет  $T_0 = 15550$  Н.

### 1.7.1.5 Определение натяжения разгруженного несущего троса

Натяжение разгруженного троса определяется по формуле:

$$t_x = A_0 + B_p / T_{px}^2 - T_{px} / (\alpha_n E_n S_n); \quad (1.23)$$

$$A_0 = t_0 - g_n^2 L_n^2 / (24 \alpha_n T_0^2) + T_0 / (\alpha_n E_n S_n); \quad (1.24)$$

$$B_p = g_n^2 L_n^2 / (24 \alpha_n). \quad (1.25)$$

где  $g_n$  - нагрузка от собственного веса несущего троса,  $\text{Н}/\text{м}$ .

$$A_0 = -20 - \frac{29,93^2 \cdot 51,4^2}{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6} \cdot 15550^2} + \frac{15550}{253,6} = 17,36;$$

$$B_p = \frac{10,47^2 \cdot 51,4^2}{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6}} = 709,83 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_{px} = 17000$  Н, тогда

$$t_x = 17,36 + \frac{709,83 \cdot 10^6}{17000^2} - \frac{17000}{253,6} = -47,2^\circ\text{C}.$$

Задаваясь различными значениями  $T_{px}$ , определяем температуры  $t_x$ .  
Сведем результаты расчетов в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Зависимость  $T_{px}(t_x)$

$T_x, \text{H}$	17000	15000	13000	11000	9000	7000	5000	4500	4000	3800
$t_x, ^\circ\text{C}$	-47,2	-38,6	-29,7	-20,1	-9,4	4,2	26,0	34,7	46,0	51,5

По результатам расчетов строим монтажную кривую, которая изображена на рисунке А.2.

Стрелы провеса разгруженного несущего троса  $F_{pxi}$  при температурах  $t_x$  в реальных пролетах  $L_i$  выбранного анкерного участка определяются по формуле:

$$F_{pxi} = \frac{g_H \cdot L_i^2}{8 \cdot T_{px}}. \quad (1.26)$$

Производим расчет стрел провеса разгруженного несущего троса при  $t_x = -50^\circ\text{C}$  и  $T_{px} = 17650 \text{ H}$ .

$$F_{px1} = \frac{10,47 \cdot 60^2}{8 \cdot 17650} = 0,267 \text{ м};$$

$$F_{px2} = \frac{10,47 \cdot 49^2}{8 \cdot 17650} = 0,178 \text{ м};$$

$$F_{px3} = \frac{10,47 \cdot 38^2}{8 \cdot 17650} = 0,107 \text{ м.}$$

Изменяя натяжения разгруженного несущего троса и соответствующие им температуры, производим аналогичные вычисления. На основании полученных расчетов строим монтажную таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Монтажная таблица

$t_x, ^\circ\text{C}$	$T_{px}, \text{H}$	$F_x, \text{м}$		
		$L=60\text{м}$	$L=49\text{м}$	$L=38\text{м}$
-50	17650	0,267	0,178	0,107
-47	16950	0,278	0,185	0,111
-40	15300	0,308	0,205	0,124
-30	13050	0,361	0,241	0,145
-20	11000	0,428	0,286	0,172
-10	9100	0,518	0,345	0,208
0	7550	0,624	0,416	0,250
10	6350	0,742	0,495	0,298
20	5400	0,873	0,582	0,350
30	4750	0,992	0,662	0,398
38	4350	1,083	0,722	0,434
40	4250	1,109	0,739	0,445

Построим зависимость стрел провеса разгруженного несущего троса от температуры Рисунок А.3.

### 1.7.1.6 Определение натяжения нагруженного несущего троса при изменении температуры

Натяжение нагруженного несущего троса при изменении температуры

определяется по формуле:

FOR EVALUATION ONLY

$$t_x = A_0 + B_x / T_x^2 - T_x / (\alpha_n E_n S_n), \quad (1.27)$$

где  $A_0$  - значение рассчитанное выше;

$$B_x = q_x^2 \cdot L_3^2 / (24 \alpha_n), \quad (1.28)$$

где  $q_x$  - результирующая нагрузка на несущий трос, которая принимается равной  $g$ .

$$A_0 = -20 - \frac{29,93^2 \cdot 51,4^2}{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6} \cdot 15550^2} + \frac{15550}{253,6} = 17,36;$$

$$B_p = \frac{29,93^2 \cdot 51,4^2}{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6}} = 5800,66 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_x = 21000$  Н, тогда

$$t_x = 17,36 + \frac{5800,66 \cdot 10^6}{21000^2} - \frac{21000}{253,6} = -52,3^\circ\text{C}.$$

Задаваясь различными значениями  $T_x$ , определяем температуры  $t_x$ . Сведем результаты расчетов в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Зависимость  $T_x(t_x)$

$T_x, \text{Н}$	2100	1900	1700	1500	1400	1300	1200	1100	1000	9500
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
$t_x, ^\circ\text{C}$	-52,3	-41,5	-29,6	-16,0	-8,2	0,4	10,3	21,9	35,9	44,2

По результатам расчетов строим монтажную кривую, которая изображена на рисунке А.4.

Вычислим точку гололеда  $T_r$ , при этом  $t_x$  должно быть равно  $-5^\circ\text{C}$ .

$$B_r = \frac{31,51^2 \cdot 51,4^2}{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6}} = 6429,29 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_r = 14000$  Н, тогда

$$t_x = 17,36 + \frac{6429,29 \cdot 10^6}{14000^2} - \frac{14000}{253,6} = -5^\circ\text{C}.$$

Вычислим точку ветра  $T_b$ , при этом  $t_x$  должно быть равно  $-5^\circ\text{C}$ .

$$B_b = \frac{30,81^2 \cdot 51,4^2}{24 \cdot 17 \cdot 10^{-6}} = 6146,83 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_b = 13850$  Н, тогда

$$t_x = 17,36 + \frac{6146,83 \cdot 10^6}{13850^2} - \frac{13850}{253,6} = -5^\circ\text{C}.$$

Полученные в результате расчета натяжения наносим на график  $T_x(t_x)$  двумя точками:  $T_r$  и  $T_b$ .

#### 1.7.1.7 Определение стрел провеса нагруженного несущего троса

Стрелы провеса несущего троса  $F_{xi}$  в пролете  $L_i$  определяются по формуле:

$$F_{xi} = W_{xi} \cdot L_{xi}^2 / (8 \cdot Z_{xi}), \quad (1.29)$$

$$W_{xi} = q_x (1 + g \cdot \phi_{xi} \cdot K / g_x \cdot T_0). \quad (1.30)$$

При отсутствии дополнительных нагрузок (гололед, ветер)  $q_x = g_x = g$ , поэтому приведенная нагрузка равна:

$$W_{xi} = g (1 + \phi_{xi} \cdot K / T_0), \quad (1.31)$$

$$Z_{xi} = T_x + \phi_{xi} \cdot K, \quad (1.32)$$

$$\phi_{xi} = \frac{\lambda_i}{1 + (1 - \lambda_i)K / T_x}, \quad (1.33)$$

$$\lambda_i = (L_i - 2 \cdot c_i)^2 / L_i^2. \quad (1.34)$$

Производим расчет стрел провеса несущего троса при  $t_x = -50^\circ\text{C}$  и  $T_{px} = 20600 \text{ Н}$ .

$$\lambda_1 = \frac{(60 - 2 \cdot 10)^2}{60^2} = 0,444;$$

$$\lambda_2 = \frac{(49 - 2 \cdot 10)^2}{49^2} = 0,350;$$

$$\lambda_3 = \frac{(38 - 2 \cdot 10)^2}{38^2} = 0,224;$$

$$\phi_{x1} = \frac{0,444}{1 + (1 - 0,444) \cdot 20000 / 20600} = 0,288;$$

$$\phi_{x2} = \frac{0,350}{1 + (1 - 0,350) \cdot 20000 / 20600} = 0,215;$$

$$\phi_{x3} = \frac{0,224}{1 + (1 - 0,224) \cdot 20000 / 20600} = 0,128;$$

$$Z_{x1} = 20600 + 0,288 \cdot 20000 = 26360;$$

$$Z_{x2} = 20600 + 0,215 \cdot 20000 = 24900;$$



$$Z_{x3} = 20600 + 0,128 \cdot 20000 = 23160;$$

$$W_{x1} = 29,93 \cdot (1 + 0,288 \cdot 20000/15550) = 41,03;$$

$$W_{x2} = 29,93 \cdot (1 + 0,215 \cdot 20000/15550) = 38,19;$$

$$W_{x3} = 29,93 \cdot (1 + 0,128 \cdot 20000/15550) = 34,85;$$

$$F_{x1} = \frac{41,03 \cdot 60^2}{8 \cdot 26360} = 0,700 \text{ м};$$

$$F_{x2} = \frac{38,19 \cdot 49^2}{8 \cdot 24900} = 0,460 \text{ м};$$

$$F_{x3} = \frac{34,85 \cdot 38^2}{8 \cdot 23160} = 0,272 \text{ м}.$$

#### 1.7.1.8 Определение стрел провеса контактного провода

Стрелы провеса контактного провода и его вертикального перемещения у опор для реальных пролетов определяются по формуле:

$$f_{xi} = \phi_{xi} \cdot (F_{xi} - F_{0i}). \quad (1.35)$$

$$F_{0i} = g \cdot L_i^2 / (8 \cdot T_0). \quad (1.36)$$

Производим расчет стрел провеса несущего троса при  $t_x = -50^\circ\text{C}$  и  $T_{px} = 20600 \text{ Н}$ .

$$F_{01} = \frac{29,93 \cdot 60^2}{8 \cdot 15550} = 0,866 \text{ м};$$

$$F_{02} = \frac{29,93 \cdot 49^2}{8 \cdot 15550} = 0,578 \text{ м};$$

$$F_{03} = \frac{29,93 \cdot 38^2}{8 \cdot 15550} = 0,347 \text{ м};$$

$$f_{x1} = 0,288 \cdot (0,700 - 0,866) = -0,048 \text{ м};$$

$$f_{x2} = 0,215 \cdot (0,460 - 0,578) = -0,025 \text{ м};$$

$$f_{x3} = 0,128 \cdot (0,272 - 0,347) = -0,010 \text{ м}.$$

Изменяя натяжения нагруженного несущего троса и соответствующие им температуры, производим аналогичные вычисления. На основании полученных расчетов строим монтажную таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Монтажная таблица

$t_x, ^\circ\text{C}$	$T_x, \text{Н}$	$F_x, \text{М}$			$f_x, \text{М}$		
		$L=60\text{м}$	$L=49\text{м}$	$L=38\text{м}$	$L=60\text{м}$	$L=49\text{м}$	$L=38\text{м}$
-50	20600	0,700	0,460	0,272	-0,048	-0,025	-0,010
-47	20000	0,716	0,472	0,279	-0,043	-0,022	-0,009
-40	18700	0,754	0,498	0,296	-0,031	-0,016	-0,006
-30	17000	0,810	0,538	0,321	-0,015	-0,008	-0,003
-20	15550	0,866	0,578	0,347	0,000	0,000	0,000
-10	14200	0,927	0,621	0,376	0,015	0,008	0,003
0	13050	0,987	0,665	0,405	0,029	0,015	0,006
10	12050	1,048	0,709	0,434	0,042	0,022	0,008
20	11150	1,111	0,754	0,465	0,054	0,029	0,011
30	10400	1,170	0,798	0,494	0,065	0,034	0,013
38	9900	1,214	0,830	0,516	0,073	0,038	0,015
40	9750	1,228	0,840	0,523	0,075	0,039	0,015

Построим зависимость стрел провеса несущего троса от температуры рисунок А.5.

Построим зависимость стрел провеса контактного провода от температуры рисунок А.6.

### 1.7.2 Механический расчет анкерного участка бокового пути станции

Для расчета выбираем анкерный участок 7 бокового пути станции. Его длина составляет  $L_a = 1163 \text{ м}$ .

Механический расчет анкерного участка бокового пути станции производится по тем же формулам, что и механический расчет анкерного

участка главного пути станции.

FOR EVALUATION ONLY

### 1.7.2.1 Определение длины расчетного эквивалентного пролета.

$$L_3 = \sqrt{\frac{60^3 \cdot 7 + 55^3 + 53^3 \cdot 4 + 48^3 \cdot 3 + 55^3 + 45^3 + 54^3 \cdot 2 + 49^3 \cdot 2 + 46^3 + 35^3}{1163}} = 53,9 \text{ м.}$$

### 1.7.1.2 Определение длины критического пролета

$$\lambda = \frac{(53,9 - 2 \cdot 10)^2}{53,9^2} = 0,396;$$

$$\phi_{max} = \frac{0,396}{1 + (1 - 0,396) \cdot \frac{10000}{16000}} = 0,287;$$

$$Z_{max} = 16000 + 0,287 \cdot 10000 = 18870 \text{ Н};$$

$$W_r = 17,33 \cdot \left( 1 + \frac{15,7 \cdot 0,287 \cdot 10000}{16,97 \cdot 12800} \right) = 21,00 \text{ Н/м};$$

$$W_{t_{min}} = 15,7 \cdot \left( 1 + \frac{0,287 \cdot 10000}{12800} \right) = 19,22 \text{ Н/м};$$

$$L_{кр} = 18870 \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot (-5 - (-47))}{21,00^2 - 19,22^2}} = 258,2 \text{ м.}$$

Так как расчетный пролет  $L_3$  меньше критического  $L_{кр}$  ( $53,9\text{м} < 258,2\text{м}$ ), то максимальное натяжение несущего троса будет при минимальной температуре.

### 1.7.2.3 Определение температуры бес провесного состояния контактного провода

$$t_0 = \frac{-47 + 38}{2} - 15,5 = -20^\circ\text{C}.$$

#### 1.7.2.4 Определение натяжения несущего троса при беспровесном положении контактного провода

$$A_1 = -47 - \frac{15,7^2 \cdot 53,9^2}{24 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 16000^2} + \frac{16000}{164,80} = 41,33;$$

$$B_0 = \frac{15,7^2 \cdot 53,9^2}{24 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6}} = 2243,44 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_0 = 12500$  Н, тогда

$$t_0 = 41,33 + \frac{2243,44 \cdot 10^6}{12500^2} - \frac{12500}{164,80} = -20^\circ\text{C}.$$

Уточненное натяжение несущего троса при беспровесном положении контактного провода составляет  $T_0 = 12500$  Н.

#### 1.7.2.5 Определение натяжения разгруженного несущего троса

$$A_0 = -20 - \frac{15,7^2 \cdot 53,9^2}{24 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 12500^2} + \frac{12500}{164,80} = 41,33;$$

$$B_p = \frac{5,97^2 \cdot 53,9^2}{24 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6}} = 324,38 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_{px} = 15000$  Н, тогда

$$t_x = 41,33 + \frac{324,38 \cdot 10^6}{15000^2} - \frac{15000}{164,80} = -48,2^\circ\text{C}.$$

Задаваясь различными значениями  $T_{px}$ , определяем температуры  $t_x$ .  
Сведем результаты расчетов в таблицу 1.5.

FOR EVALUATION ONLY  
 Таблица 1.5 – Зависимость  $T_{px}(t_x)$

$T_x, Н$	15000	13000	11000	9000	7000	6000	5000	4000	3500
$t_x, °С$	-48,2	-35,6	-22,7	-9,3	5,5	13,9	24,0	37,3	46,6

По результатам расчетов строим монтажную кривую, которая изображена на рисунке А.7.

### 1.7.2.6 Определение стрел провеса разгруженного несущего троса

Производим расчет стрел провеса разгруженного несущего троса при  $t_x = -50°С$  и  $T_{px} = 15250 Н$ .

$$F_{px1} = \frac{5,97 \cdot 60^2}{8 \cdot 15250} = 0,176 м;$$

$$F_{px2} = \frac{5,97 \cdot 48^2}{8 \cdot 15250} = 0,113 м;$$

$$F_{px3} = \frac{5,97 \cdot 35^2}{8 \cdot 15250} = 0,060 м.$$

Изменяя натяжения разгруженного несущего троса и соответствующие им температуры, производим аналогичные вычисления. На основании полученных расчетов строим монтажную таблицу 1.6.

Таблица 1.6 – Монтажная таблица

$t_x, ^\circ\text{C}$	$T_x, \text{H}$	$F_x, \text{M}$		
		$L=60\text{M}$	$L=48\text{M}$	$L=35\text{M}$
-50	15250	0,176	0,113	0,060
-47	14800	0,182	0,116	0,062
-40	13650	0,197	0,126	0,067
-30	12100	0,222	0,142	0,076
-20	10550	0,255	0,163	0,087
-10	9100	0,295	0,189	0,100
0	7700	0,349	0,223	0,119
10	6450	0,417	0,267	0,142
20	5350	0,502	0,321	0,171
30	4500	0,597	0,382	0,203
38	3950	0,680	0,435	0,231
40	3850	0,698	0,447	0,237

Построим зависимость стрел провеса разгруженного несущего троса от температуры рисунок А8.

1.7.2.7 Определение натяжения нагруженного несущего троса при изменении температуры

$$A_0 = -20 - \frac{15,7^2 \cdot 53,9^2}{24 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 12500^2} + \frac{12500}{164,80} = 41,33;$$

$$B_p = \frac{15,7^2 \cdot 53,9^2}{24 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6}} = 2243,44 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_x = 17000 \text{ H}$ , тогда

$$t_x = 41,33 + \frac{2243,44 \cdot 10^6}{17000^2} - \frac{17000}{164,80} = -54,1^\circ\text{C}.$$

Задаваясь различными значениями  $T_x$ , определяем температуры  $t_x$ .  
Сведем результаты расчетов в таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – Зависимость  $T_x(t_x)$

$T_x, \text{Н}$	17000	15000	14000	13000	12000	11000	10000	9000	8000	7000
$t_x, ^\circ\text{C}$	-54,1	-39,7	-32,2	-24,3	-15,9	-6,9	3,1	14,4	27,8	44,6

По результатам расчетов строим монтажную кривую, которая изображена на рисунке А.9.

Вычислим точку гололеда  $T_\Gamma$ , при этом  $t_x$  должно быть равно  $-5^\circ\text{C}$ .

$$B_\Gamma = \frac{17,33^2 \cdot 53,9^2}{24 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6}} = 2733,46 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_\Gamma = 11200 \text{ Н}$ , тогда

$$t_x = 41,33 + \frac{2733,46 \cdot 10^6}{11200^2} - \frac{11200}{164,80} = -5^\circ\text{C}.$$

Вычислим точку ветра  $T_B$ , при этом  $t_x$  должно быть равно  $-5^\circ\text{C}$ .

$$B_B = \frac{16,72^2 \cdot 53,9^2}{24 \cdot 13,3 \cdot 10^{-6}} = 2544,43 \cdot 10^6.$$

Пусть  $T_B = 11050 \text{ Н}$ , тогда

$$t_x = 41,33 + \frac{2544,43 \cdot 10^6}{11050^2} - \frac{11050}{164,80} = -5^\circ\text{C}.$$

Полученные в результате расчета натяжения наносим на график  $T_x(t_x)$  двумя точками:  $T_r$  и  $T_b$ .

#### 1.7.2.8 Определение стрел провеса нагруженного несущего троса

Производим расчет стрел провеса несущего троса при  $t_x = -50^\circ\text{C}$  и  $T_{px} = 16400 \text{ Н}$ .

$$\lambda_1 = \frac{(60 - 2 \cdot 10)^2}{60^2} = 0,444;$$

$$\lambda_2 = \frac{(48 - 2 \cdot 10)^2}{48^2} = 0,340;$$

$$\lambda_3 = \frac{(35 - 2 \cdot 10)^2}{35^2} = 0,184;$$

$$\phi_{x1} = \frac{0,444}{1 + (1 - 0,444) \cdot 10000 / 16400} = 0,332;$$

$$\phi_{x2} = \frac{0,340}{1 + (1 - 0,340) \cdot 10000 / 16400} = 0,242;$$

$$\phi_{x3} = \frac{0,184}{1 + (1 - 0,184) \cdot 10000 / 16400} = 0,123;$$

$$Z_{x1} = 16400 + 0,332 \cdot 10000 = 19720;$$

$$Z_{x2} = 16400 + 0,242 \cdot 10000 = 18820;$$

$$Z_{x3} = 16400 + 0,123 \cdot 10000 = 17630;$$



$$W_{x1} = 15,7 \cdot (1 + 0,332 \cdot 10000/12500) = 19,87;$$

$$W_{x2} = 15,7 \cdot (1 + 0,242 \cdot 10000/12500) = 18,74;$$

$$W_{x3} = 15,7 \cdot (1 + 0,123 \cdot 10000/12500) = 17,24;$$

$$F_{x1} = \frac{19,87 \cdot 60^2}{8 \cdot 19720} = 0,453 \text{ м};$$

$$F_{x2} = \frac{19,87 \cdot 48^2}{8 \cdot 18820} = 0,287 \text{ м};$$

$$F_{x3} = \frac{19,87 \cdot 35^2}{8 \cdot 17630} = 0,150 \text{ м}.$$

#### 1.7.2.9 Определение стрел провеса контактного провода

Производим расчет стрел провеса несущего троса при  $t_x = -50^\circ\text{C}$  и  $T_{px} = 16400 \text{ Н}$ .

$$F_{01} = \frac{15,7 \cdot 60^2}{8 \cdot 12500} = 0,565 \text{ м};$$

$$F_{02} = \frac{15,7 \cdot 48^2}{8 \cdot 12500} = 0,362 \text{ м};$$

$$F_{03} = \frac{15,7 \cdot 35^2}{8 \cdot 12500} = 0,192 \text{ м};$$

$$f_{x1} = 0,332 \cdot (0,453 - 0,565) = -0,037 \text{ м};$$

$$f_{x2} = 0,242 \cdot (0,287 - 0,362) = -0,018 \text{ м};$$

$$f_{x3} = 0,123 \cdot (0,150 - 0,192) = -0,005 \text{ м}.$$

Изменяя натяжения нагруженного несущего троса и соответствующие им температуры, производим аналогичные вычисления. На основании полученных расчетов строим монтажную таблицу 1.8.

Таблица 1.8 – Монтажная таблица

$t_x, ^\circ\text{C}$	$T_x, \text{H}$	$F_x, \text{M}$			$f_x, \text{M}$		
		$L=60\text{M}$	$L=48\text{M}$	$L=35\text{M}$	$L=60\text{M}$	$L=48\text{M}$	$L=35\text{M}$
-50	16400	0,453	0,287	0,150	-0,037	-0,018	-0,005
-47	16000	0,463	0,293	0,153	-0,034	-0,017	-0,005
-40	15000	0,488	0,310	0,163	-0,025	-0,012	-0,004
-30	13700	0,525	0,335	0,177	-0,013	-0,006	-0,002
-20	12500	0,565	0,362	0,192	0,000	0,000	0,000
-10	11350	0,611	0,393	0,210	0,014	0,007	0,002
0	10300	0,660	0,426	0,230	0,027	0,013	0,004
10	9400	0,709	0,460	0,250	0,040	0,020	0,006
20	8550	0,764	0,498	0,272	0,053	0,026	0,008
30	7850	0,817	0,535	0,295	0,065	0,032	0,009
38	7350	0,860	0,566	0,313	0,074	0,037	0,011
40	7250	0,869	0,572	0,317	0,076	0,037	0,011

Построим зависимость стрел провеса несущего троса от температуры рисунок А.10.

Построим зависимость стрел провеса контактного провода от температуры рисунок А11.

## 1.8 Расчет и выбор опор на перегоне

### 1.8.1 Составление схемы армировки опоры

Для опор, устанавливаемых в сейсмических районах, необходимо учитывать дополнительные моменты от сейсмических воздействий в соответствии с данными, приведенными в типовых проектах опор. Сумма

моментов от конкретных нагрузок и от сейсмических воздействий не должна превышать расчетные моменты, выдерживаемые опорой.

Для расчета и выбора опор составляется схема нагружения опоры, на которой указываются все нагрузки, как вертикальные, так и горизонтальные. Также на схеме указываются плечи для определения изгибающих моментов от действия этих нагрузок. Схема нагружения опоры приведена на рис. 12.

### 1.8.2 Определение нагрузок и величины внешних сил при различных расчетных режимах

Для удобства расчетов составляется таблица линейных нагрузок, предварительно определив некоторые нагрузки и величины внешних сил.

Нагрузки от веса усиливающих проводов и линии ВЛ 10 кВ в режимах гололеда с ветром определяются, используя методику см. пункт 1.3 и соответственно равны

$$G_{\text{пр}} = 5,06 \text{ Н/м} \text{ (для одного провода А - 185 см.)};$$

$$g_{\text{гпр}} = 27,7 \cdot 0,0075 \cdot (0,0175 + 0,0075) \cdot 10^3 = 5,19 \text{ Н/м};$$

$$g_{\text{вл}} = 1,45 \text{ Н/м} \text{ (для одной нити)};$$

$$g_{\text{з дпр}} = 27,7 \cdot 0,0075 \cdot (0,0075 + 0,0084) \cdot 10^3 = 3,3 \text{ Н/м}.$$

Ветровые нагрузки на усиливающие провода и линию ВЛ 10 кВ в расчетных режимах определяются в соответствии с пунктом 1.3

$$P_{\text{пр}} = 0,615 \cdot (0,9 \cdot 24)^2 \cdot 1,25 \cdot 0,0175 = 6,27 \text{ Н/м};$$

$$P_{\text{гпр}} = 0,615 \cdot 1,25 \cdot (0,6 \cdot 0,9 \cdot 24)^2 \cdot (0,0175 + 2 \cdot 0,0075) \cdot 10^3 = 4,19 \text{ Н/м};$$

$$P_{\text{вл10}} = 0,615 \cdot (0,9 \cdot 24)^2 \cdot 1,25 \cdot 0,0084 = 3,01 \text{ Н/м};$$

$$P_{\text{вл10}} = 0,615 \cdot (0,9 \cdot 24 \cdot 0,6)^2 \cdot 1,25 \cdot (0,0084 + 2 \cdot 0,0075) = 3,02 \text{ Н/м};$$

Все определенные выше нагрузки на опоры контактной сети сводятся в таблицу 1.9.

Таблица 1.9 - Нагрузка на стойку контактной сети

Наименование нагрузки	Гололед с ветром	Режим минимальных температур
1	2	3
Нагрузка от веса контактной подвески, $\text{H}/\text{M}$	35,73	29,93
Ветровая нагрузка на несущий трос, $\text{H}/\text{M}$	3,74	5,02
Ветровая нагрузка на контактный провод, $\text{H}/\text{M}$	3,09	5,24
Нагрузка от веса двух усиливающих проводов, $\text{H}/\text{M}$	10,38	10,12
Ветровая нагрузка на два усиливающих провода, $\text{H}/\text{M}$	8,38	12,54
Расчетная скорость ветра, м/с	12,96	21,6
Вес консоли, Н	716	516
Вес кронштейна для усиливающего провода, Н	480	380
Нагрузка от веса трех проводов ВЛ 10 кВ, $\text{H}/\text{M}$	9,9	4,35
Вес кронштейна для линии ВЛ 10 кВ, Н	440	330
Ветровая нагрузка на три провода линии ВЛ 10 кВ, $\text{H}/\text{M}$	9,06	9,03

В рамках данного дипломного проекта приводится пример расчета нагрузок действующих на промежуточную опору установленную на прямой.

Нагрузки на остальные опоры (промежуточные в кривых, переходная на прямой и анкерная на прямой) определяются на ЭВМ.

Вертикальная нагрузка от веса контактной подвески для расчетного режима:

$$G_{\text{пгв}} = 35,73 \cdot 70 + 150 + 200 = 2851,1 \text{ Н};$$

$$G_{\text{пмв}} = 29,93 \cdot 70 + 150 + 200 = 2445,1 \text{ Н}.$$

Аналогично определяется вертикальная нагрузка от веса усиливающих проводов и проводов линии ВЛ 10 кВ для расчетного режима –  $j$

$$G_{\text{пр}} = g_{\text{пр}j} \cdot L + G_u ; \quad (1.37)$$

$$G_{\text{гз}} = g_{\text{гз}j} \cdot L + G_u . \quad (1.38)$$

$$G_{\text{пргв}} = 10,38 \cdot 70 + 200 = 926,6 \text{ Н};$$

$$G_{\text{прмв}} = 10,12 \cdot 70 + 200 = 908,4 \text{ Н};$$

$$G_{\text{ГВЛ10}} = 9,9 \cdot 70 + 200 = 893 \text{ Н};$$

$$G_{\text{ВЛ10мв}} = 4,35 \cdot 70 + 200 = 504,5 \text{ Н}.$$

Горизонтальная нагрузка на опору под действием ветра на провода контактной сети определяется из выражения

$$P_j^i = p_j^i \cdot L , \quad (1.39)$$

где  $p_j^i$  - линейная ветровая нагрузка на  $i$ -ый провод контактной сети при  $j$ -ом режиме,  $\text{Н}/\text{м}$ ;

$i$  - провод контактной сети (н – несущий трос, к – контактный провод, пр – усиливающий провод).

$$P_{\Gamma}^H = 3,74 \cdot 70 = 261,8 \text{ Н};$$

$$P_{\Gamma}^K = 3,09 \cdot 70 = 216,3 \text{ Н};$$

$$P_{\Gamma}^{\text{np}} = 8,38 \cdot 70 = 586,6 \text{ Н};$$

$$P_{\Gamma}^{\text{BJI}} = 9,06 \cdot 70 = 634,2 \text{ Н}.$$

#### Режим минимальных температур

$$P_{\text{B}}^H = 5,02 \cdot 70 = 351,4 \text{ Н};$$

$$P_{\text{B}}^K = 5,24 \cdot 70 = 366,8 \text{ Н};$$

$$P_{\text{B}}^{\text{np}} = 12,54 \cdot 70 = 877,8 \text{ Н};$$

$$P_{\text{B}}^{\text{BJI}} = 9,03 \cdot 70 = 632,1 \text{ Н};$$

Усилия от изменения направления контактных проводов при зигзагах на прямых участках пути, имеющих на соседних опорах равные по величине и противоположные по направлению значения, определяются по формуле

$$P_3 = \frac{K \cdot 4 \cdot a}{L}, \quad (1.40)$$

где  $a$  - величина зигзага на прямом участке пути, м.

Усилия от изменения направления контактных проводов при зигзагах на прямых участках пути в режимах минимальной температуры, гололеда с ветром, максимального ветра соответственно равны

$$P_3^{\text{MT,ГВ,МВ}} = \frac{19800 \cdot 4 \cdot 0,3}{70} = 339,4 \text{ Н.}$$

Нагрузка от давления ветра на опору определяется из выражения

$$P_{\text{оп}} = 0,615 \cdot C_x \cdot V_p^2 \cdot S_{\text{оп}}, \quad (1.41)$$

где  $C_x$  - аэродинамический коэффициент для железобетонных опор;

$V_p$  - расчетная скорость ветра, м/с;

$S_{\text{оп}}$  - площадь поверхности, на которую действует ветер (площадь диаметрального сечения опоры).

$$S_{\text{оп}} = h_{\text{оп}} \cdot \frac{(d + D)}{2}, \quad (1.42)$$

где  $d, D$  - диаметры опоры, соответственно верхний и нижний, м;

$h_{\text{оп}}$  - высота опоры, м.

Проведем расчет площади диаметрального сечения опоры и горизонтальных нагрузок от давления ветра на опору в режимах гололеда с ветром и максимального ветра (минимальной температуры)

$$S_{\text{оп}} = 13,6 \cdot \frac{(0,29 + 0,492)}{2} = 5,32 \text{ м}^2;$$

$$P_{\text{оп}}^{\text{ГВ}} = 0,615 \cdot 0,7 \cdot 12,96^2 \cdot 5,32 = 384,67 \text{ Н};$$

$$P_{\text{оп}} = 0,615 \cdot 0,7 \cdot 21,6^2 \cdot 5,32 = 1068,5 \text{ Н};$$

### 1.5.3 Определение суммарных моментов от внешних сил. Выбор типа опор

Суммарные изгибающие моменты от внешних сил относительно условного обреза фундамента опоры определяются из выражения

$$M_{0j} = n_n \cdot G_{nj} \cdot Z_n + n_{кн} \cdot G_{кн} \cdot Z_{кн} - n_{пр} \cdot G_{пр} \cdot Z_{пр} - n_{гз} \cdot G_{гз} \cdot Z_{гз} - n_{кр} \cdot G_{кр} \cdot Z_{кр} + \\ + h_n \cdot (\pm P_{вj}^H \pm P_{изj}^H) + h_k \cdot (\pm P_{вj}^K \pm P_{изj}^K) + h_{пр} \cdot (\pm P_{вj}^{пр} \pm P_{изj}^{пр}) + 0,5 \cdot h_{он} \cdot P_{онj} \quad , \quad (1.43)$$

где  $Z, h$  - плечи действия соответствующих нагрузок.

Знак "+" принимается по направлению действия нагрузки от контактной подвески.

Расчет суммарного изгибающего момента от внешних сил при расчетных режимах относительно условного обреза фундамента произведем для промежуточной опоры на прямой. Выбор опоры производится из условия

$$M_o < M_n, \quad (1.44)$$

где  $M_n$  - нормативный момент выбранного типа опоры, Н·м.

Расчет моментов и выбор стоек произведем с помощью ЭВМ.

Прямая - стойка СС – 136.6 – 2 (24662 Н·м)

Насыпь – стойка СС – 136.6 – 2 (26388 Н·м)

Кривая  $R = 600$  м – стойка СС – 136.6 – 2 (26689 Н·м)

Кривая  $R = 850$  м – стойка СС – 136.6 – 2 (26389 Н·м)

Кривая  $R = 900$  м – стойка СС – 136.6 – 2. (25946 Н·м)



## 2 Анализ конструктивных особенностей и условий эксплуатации ограничителей перенапряжения

### 2.1 Устройство и принцип действия

Конструктивно ограничитель перенапряжения включает в себя полупроводниковый элемент с нелинейной величиной сопротивления. Как правило, в роли таких элементов выступают вилитовые диски, изготовленные на основе оксидов цинка с включением в их состав тех или иных примесей. Снаружи диски закрываются защитной рубашкой, а на концах имеют электрические выводы, один из которых подводится к защищаемой электрической сети, а второй заземляется.

Работа ОПН схожа с обычным варистором, отличительной особенностью ограничителя являются некоторые различия с характеристикой варистора в части проводимости и скорости нарастания. Принцип действия ограничителя перенапряжения заключается в его нелинейной вольт-амперной характеристике (ВАХ). Это означает, что при номинальном напряжении сопротивление варисторов достаточно большое и ток через них не протекает – его сопротивление изоляции соизмеримо с изоляцией кабелей, изоляторов и электрических приборов.

В рабочем режиме при возникновении грозových разрядов или других высоковольтных импульсов сопротивление нелинейных резисторов внутри ограничителя резко снижается. Как правило, эта величина приближается к нулю или несоизмеримо меньше сопротивления сети и всех подключенных к ней приборов. Поэтому при коммутационных или грозových перенапряжениях ток разряда протекает только через ограничитель перенапряжения на землю, чем и обеспечивается защита электрооборудования.

Пределы срабатывания ограничителя перенапряжений на разряды молний или другие импульсные перенапряжения определяются его ВАХ. Порошковые токоъемные элементы на металлической основе.

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

Как видите из рисунка Д.2, при работе ограничителя перенапряжения до 600В, протекающий через него ток будет равен нулю. Как только это значение пересечет отметку в 600В, сопротивление резко уменьшится и протекающий ток увеличится до сотен и тысяч ампер.

Здесь кривая характеристики представлена тремя участками:

- 1 – область нулевых или сверхмалых токов;
- 2 – область средних токовых нагрузок;
- 3 – область максимального тока.

## 2.2 Виды ОПН

В связи с большим спектром решаемых задач ограничители перенапряжения подразделяются на несколько видов, которые отличаются по таким параметрам:

1)Класс напряжения – рабочая величина, на которую рассчитан ограничитель, разделяется на устройства до 1кВ и выше, как правило, номинал напряжения соответствует стандартному значению электрических параметров сети (6, 10, 35 кВ).

2)Материал рубашки – определяет тип изоляции наружного слоя, наиболее часто используются фарфоровые или полимерные модели.

3)Класс защищенности – определяет возможность установки или на открытой части, или только внутри помещения.

4)Количеству элементов или фаз – число ограничителей перенапряжения зависит от числа защищаемых фаз и величины питающего их напряжения.

Так для каждой из фаз в электроустановке может устанавливаться отдельная колонка или одна для всех. Также следует отметить, что в электроустановках на 110 кВ и более ОПН для одной фазы может собираться из нескольких однотипных элементов, к примеру, из трех на 35 кВ.

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

В зависимости от причин возникновения перенапряжения в сети устройство защиты должно выстраиваться в соответствии с требованиями стандартов:

ГОСТ Р 50571.18-2000 – от возможных перенапряжений в низковольтных сетях при замыканиях по высокой стороне.

ГОСТ Р 50571.19-2000 – от скачков, образованных воздействием молнии и возникающих в результате переключения электроустановок.

ГОСТ Р 50571.20-2000 – от перенапряжений генерируемых электромагнитными воздействиями.

Комбинация нескольких видов позволяет выстраивать многофункциональные или ступенчатые ограничители.

Фарфоровые. Достаточно распространенным вариантом являются ограничители коммутационных перенапряжений с фарфоровым корпусом. Такие модели отличаются своими эксплуатационными параметрами, так как керамика невосприимчива к воздействию солнечной радиации, а находящийся внутри вентильный разрядник практически не зависит от температуры внешней среды.

Также весомым преимуществом этих ограничителей является большая механическая прочность на сжатие и разрыв, благодаря чему их можно использовать и в качестве опорной конструкции. Но фарфоровые ОПН характеризуются сравнительно большим весом, а также представляют значительную угрозу в случае разрыва, так как осколки фарфора поражают близлежащие здания и могут травмировать персонал.

Полимерные. С развитием химической отрасли и распространением полимеров в качестве диэлектриков они значительно вытеснили фарфоровые ограничители. Полимерные ОПН представляют собой устройства с рубашкой из каучука, винила, фторопласта или других подобных материалов.

Полимерные ограничители куда более устойчивы к воздействию влаги, отличаются меньшим весом и большей взрывобезопасностью, так как в случае разрушения корпуса избыточным давлением внутри колонки, рубашка

повреждается по линии разлома, но не разлетается острыми осколками. Значительным преимуществом полимерных моделей является их устойчивость к динамическим нагрузкам.

К недостаткам полимерных ОПН относится способность к накоплению пыли и прочих засорителей на поверхности диэлектрика, которые со временем приводят к повышению пропускной способности, увеличению тока утечки и пробоем изоляции. Также полимеры боятся солнечной радиации и температурных колебаний в окружающей среде.

Одноколонковые. Такие ограничители перенапряжения представляют собой один конструктивный элемент с нелинейным сопротивлением. Число полупроводниковых дисков в них набирается в соответствии с категорией защищаемой электроустановки. В зависимости от количества и типа осаживающейся на поверхности пыли и засорителей, одноколонковые ОПН подразделяются по классам от II до IV согласно градуировке ГОСТ 9920.

Многоколонковые. В отличие от предыдущих устройств борьбы с коммутационными перенапряжениями, эти средства защиты высоковольтного оборудования имеют несколько колонок, модулей или блоков, объединяемых в одну систему. Данный вид ОПН характеризуется большей надежностью по отношению к защищаемым объектам, так как способен реагировать и на одиночные, и на дифференциальные перенапряжения.

### **2.3 Технические характеристики**

При выборе конкретной модели ограничителя перенапряжения обязательно учитываются такие параметры устройства:

- Время срабатывания – характеризует скорость открытия полупроводникового элемента ограничителя после нарастания напряжения.
- Рабочее напряжение – определяет величину электрической энергии, которую ОПН может выдерживать без нарушения работоспособности в течении любого промежутка времени.

- Номинальное повышенное напряжение – значение рабочей величины, которое ОПН способен выдерживать в течении 10 секунд, также нормируется совместно с остаточным напряжением, которое остается в сети.
- Ток утечки – возникает как результат приложения напряжения к ограничителю перенапряжения и определяется его омическим сопротивлением или параметрами резисторов. В исправном состоянии этот параметр составляет сотые или тысячные доли ампер, перетекающие по рубашке и полупроводнику от источника к проводу заземления.
- Разрядный ток – величина, образующаяся при импульсных скачках, в зависимости от источника перенапряжения разделяется на атмосферные, электромагнитные и коммутационные импульсы.
- Устойчивость к току волны перенапряжения – определяет способность сохранять целостность всех элементов конструкции в аварийном режиме.

## 2.4 Обслуживание и диагностика ОПН

В процессе эксплуатации ограничители перенапряжения не являются одноразовым элементом. Поэтому могут многократно производить операции перевода импульсного разряда на заземляющую шину автоматически. Из-за особенностей протекания и величины перенапряжения ОПН может утрачивать заводские параметры, снижать эффективность работы до полного выхода со строя. Для предотвращения подобных ситуаций они подвергаются периодической проверке в процессе эксплуатации, которая регламентируется п.2.8.7 ПТЭЭП. При этом проверяется:

- Сопротивление – не менее раза в 6 лет, измеряется при помощи мегаомметра.
- Ток проводимости – проверяется только при условии снижения предыдущего параметра.
- Пробивное напряжение и герметичность проверяются только после заводского ремонта или при приемке в эксплуатацию на заводе.

Самостоятельно электроснабжающими и эксплуатирующими организациями такие меры диагностики для ограничителей не производятся.

-Тепловизионные измерения должны выполняться в соответствии с регламентом изготовителя или местными планово-предупредительными ремонтами.

Также в процессе эксплуатации может выполняться внешний осмотр устройства на наличие подгаров, сколов, загрязнения или других дефектов в изоляции.

## 2.5 Преимущества ОПНп перед разрядниками

Недостатки разрядников:

1. Большой износ контактов (ограниченное число срабатываний); высокое минимальное напряжение возникновения разряда.
2. Значительное время срабатывания (1 ... 2 мс – процесс ионизации газа происходит лавино- образно и требует времени).
3. Кратковременный ток разрядника (срабатывание разрядника) может составлять значительную величину (10 ... 100 кА) – сопровождающий ток после прохождения волны перенапряжения.
4. Защищаемая цепь шунтируется после прохождения импульса перенапряжения (инерционность выключения доходит до 0,5 с).
5. При работе на постоянном напряжении мощные разрядники могут иметь инерционность возврата в исходное состояние – 30 с.
6. При изготовлении дается большой допуск на напряжение пробоя.
7. Большое значение остаточного напряжения, что не позволяет их использовать для защиты низковольтных электронных компонентов.
8. Параметры сильно зависят от окружающей среды ( $t$  °С, атмосферного давления, влажности)
9. Малый срок службы и низкая надежность межэлектродного пространства.

## Преимущества ОПН:

1. Варисторы – высоконелинейные резисторы объемного типа, применяемые в ОПН, имеют резконелинейную вольтамперную характеристику, обладают высокой стабильностью, которая не изменяется в процессе длительной эксплуатации ОПН.

2. Безинерционное отслеживание перепадов напряжений.

3. Большое быстродействие срабатывания ОПН при коммутационных и грозовых напряжениях.

4. Отличные пиковые электрические характеристики в широком диапазоне рабочей температуры.

5. Применение варисторов в одноколонковом исполнении позволяет обеспечить особенно глубокое ограничение напряжений и, соответственно, более высокую надежность работы высоковольтного оборудования и улучшение качеств параметров электрических сетей.

6. Уменьшение габарита и веса ОПН в 10...20 раз позволяет установить их непосредственно на выводах трансформаторов, электродвигателей, в ячейках КСО и КРУ, подстанциях, электрофицированном транспорте.

7. Обеспечена возможность создания одноколонковых ОПН на все классы напряжений, при этом максимально используется объем корпуса аппарата, что также значительно снижает массу ОПН по сравнению с многоколонковыми ОПН и существенно повышает надежность работы.

8. Технология производства стеклопластиковых корпусов или однонаправленных стержней с нанесением на них защитного ребристого покрытия (оригинальной формы) позволяет выпускать ОПН в одноэлементном исполнении 1...3 м. При больших классах напряжения сети ОПН состоят из двух или трех частей (модулей). Такая конструкция обеспечивает минимальную металлоемкость и высоту ОПН и повышает надежность работы ОПН при увлажнении и загрязнении поверхности аппарата.

9. Высокая механическая прочность и малая масса ОПН позволяет устанавливать их не только на подстанциях, но и непосредственно на линиях электропередач (ЛЭП) без усиления конструкции опор. При этом появляется возможность ограничения грозовых перенапряжений на отдельные опоры высоковольтных сетей, например, на изолирующей подвеске переходов через водные препятствия большой ширины, на пересечениях двух линий, когда приходится применять опоры увеличенной высоты, либо в случаях, когда сопротивление заземления отдельных опор имеет повышенное значение по сравнению с другими опорами (скалистый грунт, песок и т.д.).

10. Эффективно применение ОПН на подходах к подстанциям для ограничения грозовых перенапряжений.

11. Применение подвесных ОПН на ЛЭП позволяет обеспечить практически ровное ограничение коммутационных перенапряжений вдоль линий электропередач любой длины.

12. Применение ОПН для вновь создаваемых ЛЭП позволит существенно изменить высоту опор, снизить их габариты и металлоемкость.

13. В настоящее время применение фарфора в качестве конструкционного материала ОПН оценивается технически необоснованным из-за увеличивающихся требований по уменьшению массо-габаритных показателей и взрывобезопасности.

14. ОПН в полимерных корпусах не требуют обслуживания, не повреждаются при транспортировке и хранении. Малые массо-габариты ОПНп позволяют легко выполнять монтаж при минимальном использовании техники.



## 3 Расчет стоимости содержания проектируемого участка контактной сети

### 3.1 Расходы, связанные с содержанием контактной сети

Расходы, связанные с содержанием контактной сети, включают в себя следующие группы расходов:

- расходы по техническому обслуживанию и текущему ремонту контактной сети;
- расходы на капитальный ремонт контактной сети;
- амортизационные отчисления на контактную сеть.

Первая группа расходов включает в себя:

- расходы на заработную плату работников района контактной сети и ремонтно-ревизионного участка (РРУ) по испытанию изоляции, замерам сопротивления устройств;
- отчисления на социальные нужды;
- расходы на материалы;
- расходы на электроэнергию;
- прочие расходы.

Для определения затрат на заработную плату, связанную с обслуживанием и текущим ремонтом проектируемого участка контактной сети, сначала рассчитаем ФОТ по району контактной сети в целом, затем определим заработную плату в расчете на 1 км контактной сети и, умножив ее на развернутую длину проектируемого участка, получим искомые затраты по заработной плате на обслуживание и текущий ремонт проектируемого участка ( $Z_{\text{пр}}$ ):

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

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

где  $Z_{\text{ЭЧК}}$  - общая сумма оплаты труда работников района контактной сети

$L_{\text{ЭЧК}}$  - развернутая длина района контактной сети;

$L_{\text{ПР}}$  - развернутая длина проектируемого участка контактной сети, равна 20,665 км.

Развернутая длина контактной сети, обслуживаемая одним районом на двухпутных участках 150 км.

Для расчета заработной платы определим контингент работников района контактной сети. Явочная численность работников района контактной сети по техническому обслуживанию и текущему ремонту контактной сети  $\text{Ч}_{\text{ЯВ}}^{\text{КС}}$  определяется исходя из развернутой длины  $L_{\text{ЭЧК}}$  и нормы затрат труда на 1 км развернутой длины контактной сети  $N_{\text{К}}$ , установленной для каждого конкретного района контактной сети:

$$\text{Ч}_{\text{ЯВ}}^{\text{КС}} = N_{\text{К}} \cdot L_{\text{ЭЧК}}, \quad (3.2)$$

где  $N_{\text{К}}$  - в расчетах принимаем 0,1 - 0,2 чел/км на 1 км развернутой длины.

$$\text{Ч}_{\text{ЯВ}}^{\text{КС}} = 0,1 \cdot 150 = 15 \text{ чел.}$$

Норматив  $N_{\text{К}}$  включает старших электромехаников, электромехаников, электромонтеров, машинистов автомотрис и дрезин, водителей автолетучек. Также предусматривается один начальник ЭЧК.

Общая численность  $\text{Ч}_{\text{ЯВ}}^{\text{КС}}$  (тарифный коэффициент):

- один старший электромеханик;
- один электромеханик;
- один шофер автолетучки (2,12);

- один водитель дрезины (2,31);
- четыре водителя дрезины (дежурные) (2,31);

Остальные работники (электромонтеры) распределяются по уровню квалификации (тарифный коэффициент):

- VI разряда – 1 чел (2,31);
- V разряда – 1 чел (2,12);
- IV разряда- 1 чел (1,89);
- III разряда – 4 чел (1,63).

Кроме того, необходимо предусмотреть в расчетах одного начальника района контактной сети.

Далее определим дополнительный контингент  $\mathcal{C}_{\text{доп}}$  (на замещение больных и отсутствующих на работе по уважительным причинам), а также списочную численность работников  $\mathcal{C}_{\text{СП}}$ :

$$\mathcal{C}_{\text{СП}} = \mathcal{C}_{\text{ЯВ}}^{\text{КС}} \cdot K_{\text{ЗАМ}}, \quad (3.3)$$

где  $K_{\text{ЗАМ}}$  - коэффициент учитывающий отсутствующих работников (коэффициент замещения),  $K_{\text{ЗАМ}} = 1,14$ .

$$\mathcal{C}_{\text{СП}} = 15 \cdot 1,14 = 17,1 \text{ чел.}$$

$$\mathcal{C}_{\text{доп}} = \mathcal{C}_{\text{СП}} - \mathcal{C}_{\text{ЯВ}}^{\text{КС}}. \quad (3.4)$$

$$\mathcal{C}_{\text{доп}} = 17 - 15 = 2 \text{ чел.}$$

Работа электромонтеров и водителей транспортных средств оплачивается повременно - премиальной системе. Оплата труда электромеханика, старшего электромеханика, начальника района контактной сети производится по

МАСТЕР PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

должностным окладам.

Месячная тарифная ставка рабочего или должностной оклад определяется путем умножения минимальной заработной платы, установленной на железнодорожном транспорте ( $T_{мин} = 8376$  руб.) на тарифный коэффициент, соответствующий разряду квалификации данного работника.

Доплату за работу в тяжелых условиях труда предусмотрим в следующем размере к месячной тарифной ставке или окладу:

- электромонтерам контактной сети VI разряда - 16%;
- электромонтерам III—V разрядов - 10%;
- водителям транспортных средств - 4%;
- электромеханикам - 8%.

Доплата за работу в ночное время дежурным водителям дрезин составляет 13,3% , а за работу в праздничные дни – 3,28% от тарифной ставки с учетом доплат за тяжелые условия труда.

Размер премии принимаем 20% к сумме заработка, включающего месячную тарифную ставку или оклад.

В расчете предусмотрим одного бригадира из числа электромонтеров VI разряда и запланируем ему доплату за руководство бригадой в размере 15% от тарифной ставки.

Доплата по районному коэффициенту составляет 15% от суммы, включающей месячный заработок; доплаты: за работу в тяжелых условиях труда, за работу в ночное время, в праздничные дни, за руководство бригадой.

Дополнительную заработную плату рассчитываем в размере 12% от общей суммы основной зарплаты за вычетом зарплаты начальника района контактной сети.

Далее рассчитаем расходы по оплате труда работников ремонтно - ревизионного участка, занятых на работах по содержанию контактной сети: эти расчеты ведем на проектируемый участок контактной сети.

Затраты труда работников ремонтно-ревизионного участка по испытанию изоляции и замерам сопротивлений устройств составляет 5 человеко-часов в год

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

на 1 км развернутой длины контактной сети. Эти работы выполняют электромонтеры V разряда.

### 3.2 Расчет затрат на оплату труда

Расчет затрат на оплату труда работников ремонтно-ревизионного участка:

- Тарифный заработок  $Z_T$  :

$$Z_T = 5 \cdot L_{\text{ПР}} \cdot T_{\text{ЧС}}, \quad (3.5)$$

где  $T_{\text{ЧС}}$  - часовая тарифная ставка электромонтера V- разряда ( $T_{\text{ЧС}} = 108,16$  руб.);

$$Z_T = 5 \cdot 20,665 \cdot 108,16 = 11175,63 \text{ руб.}$$

- Доплата за тяжелые условия труда  $D_T$  :

$$D_T = 0,1 \cdot Z_T; \quad (3.6)$$

$$D_T = 0,1 \cdot 11175,63 = 1117,563 \text{ руб.}$$

- Премия  $Z_{\text{П}}$ , 25%:

$$Z_{\text{П}} = (Z_T + D_T) \cdot 0,25; \quad (3.7)$$

- Доплата за разъездной характер работы  $D_P$  - 20%:

$$D_P = Z_T \cdot 0,2 \quad (3.8)$$

$$D_p = 1117,563 \cdot 0,2 = 223,51 \text{ руб.}$$

- Доплата по районному коэффициенту  $D_K$  :

$$D_K = 0,15 \cdot (Z_T + D_T + Z_{II} + D_p); \quad (3.9)$$

$$D_K = 0,15 \cdot (1117,563 + 1117,563 + 3073,29 + 223,51) = 2338,5 \text{ руб.}$$

- Общий фонд основной заработной платы:

$$\Phi OT_{OCH,PPY} = Z_T + D_T + Z_{II} + D_p + D_K; \quad (3.10)$$

$$\Phi OT_{OCH,PPY} = 1117,563 + 1117,563 + 3073,29 + 223,51 + 2338,5 = 17928,49 \text{ руб.}$$

- Фонд дополнительной зарплаты (12% от  $\Phi OT_{OCH,PPY}$ ):

$$\Phi OT_{DOП.PPY} = 0,12 \cdot \Phi OT_{OCH,PPY}; \quad (3.11)$$

$$\Phi OT_{DOП.PPY} = 0,12 \cdot 17928,49 = 2151,41 \text{ руб.}$$

- Общий годовой фонд оплаты труда работников РРУ по обслуживанию контактной сети:

$$\Phi OT_{OБЦ.PPY} = \Phi OT_{OCH.PPY} + \Phi OT_{DOП.PPY}; \quad (3.12)$$

$$\Phi OT_{OБЦ.PPY} = 17928,49 + 2151,41 = 20079,9 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_{3.п.}^{np} = 20079,9 + 37,873 \cdot 20,665 = 20862,55 \text{ руб.}$$

- Отчисления на социальные нужды 30,4 % фонда заработной платы составят

$$\Xi_{\text{отч}}^{\text{пр}} = 0,304 \cdot 20862,55 = 6342,21 \text{ руб.}$$

- Расходы на материалы для проектируемого участка (из расчета 8400 руб. на 1 км развернутой длины контактной сети):

$$C_{\text{мат}} = 8400 \cdot 20,665 = 173586 \text{ руб.}$$

- Затраты электроэнергии для проектируемого участка составляют 1200 кВт·ч на 1 км развернутой длины контактной сети:

$$N_{\text{эи}} = 3 \cdot 1200 \cdot 20,665 = 74394 \text{ руб.}$$

- Расходы на малоценные и быстро изнашивающиеся предметы (элемент затрат прочие) принимаются 1000руб. на 1 человека:

$$C_{\text{р}} = 1000 \cdot 0,12 \cdot 20,665 = 2478,6 \text{ руб.}$$

- Прочие расходы (из расчета 2000 руб. на человека):

$$C_{\text{проч}} = 2000 \cdot 0,12 \cdot 20,665 = 4959,6 \text{ руб.}$$

- Расходы по охране труда и технике безопасности (3 % от общей суммы затрат на оплату труда):

$$C_{\text{тб}} = 0,03 \cdot 20862,55 = 625,87 \text{ руб.}$$

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

- Расходы по командировкам (0,5 % от общей суммы затрат на оплату труда):

$$C_{\text{ком}} = 2086255 \cdot 0,005 = 104,31 \text{ руб.}$$

- Содержание внутреннего транспорта для проектируемого участка (2000 руб. на 1 км развернутой длины контактной сети):

$$C_{\text{тр}} = 2000 \cdot 20,665 = 41330 \text{ руб.}$$

- Расходы на транспортировку рабочих к месту производства работ и обратно (1 % от общей суммы затрат на оплату труда):

$$C_{\text{транс}} = 2086255 \cdot 0,01 = 208,62 \text{ руб.}$$

Прочие расходы:

$$C_{\text{транс}} = 2478,6 + 4959,6 + 625,87 + 104,31 + 41330 + 208,62 = 49707 \text{ руб.}$$

Общую сумму расходов на капитальный ремонт контактной сети принимаем в размере 2 % от стоимости проектируемого участка контактной сети:

$$C_{\text{к}} = 0,02 \cdot 7000000 \cdot 20,665 = 2893100 \text{ руб.}$$

Расходы на капитальный ремонт распределим по отдельным элементам затрат:

– заработная плата – 12% от расходов на капитальный ремонт:

$$\mathcal{E}_{\text{к,р}}^{\text{з.п.}} = 0,12 \cdot 2893100 = 347172 \text{ руб.}$$



– отчисления на социальные нужды – 30,4 %:  
FOR EVALUATION ONLY

$$\mathcal{E}_{\text{К,Р}}^{\text{З,П}} = 0,304 \cdot 347172 = 105540,29 \text{ руб.}$$

– материалы – 68% от расходов на капитальный ремонт:

$$\mathcal{E}_{\text{К,Р}}^{\text{МАТ.}} = 0,68 \cdot 2893100 = 1967308 \text{ руб.}$$

– топливо – 12% от расходов на капитальный ремонт:

$$\mathcal{E}_{\text{К,Р}}^{\text{ТОП.}} = 0,12 \cdot 2893100 = 347172 \text{ руб.}$$

– прочие – 10% от расходов на капитальный ремонт:

$$\mathcal{E}_{\text{К,Р}}^{\text{МАТ.}} = 2893100 - 347172 - 105540,29 - 1967308 - 341172 = 125907,71 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления составляют 2% от стоимости проектируемого участка контактной сети:

$$\mathcal{E}_{\text{АМОРТ}}^{\text{ПР.У.}} = 0,2 \cdot 7000000 \cdot 20,665 = 2893100 \text{ руб.}$$

### 3.3 Выводы по разделу:

Рассчитаны суммарные расходы на проектируемый участок

$$\mathcal{Z}_{\text{ПР}} = 5755389 \text{ руб.}$$

## **4. Безопасность жизнедеятельности**

### **4.1 Безопасность работ при устранении повреждений ограничителей перенапряжения электроподвижного состава**

#### **4.1.1 Опасные воздействия на персонал при обслуживании ограничителей перенапряжения**

Электрические установки, с которыми приходится иметь дело практически всем работающим на железнодорожном транспорте, представляют для человека большую потенциальную опасность. Эта опасность усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаруживать наличие электрического напряжения на оборудовании.

Тяжесть поражения электрическим током зависит от ряда факторов, в том числе силы тока, электрического сопротивления тела человека и длительности протекания тока через него, рода и частоты тока, пути его прохождения, индивидуальных свойств организма и условий окружающей среды.

Работу по устранению повреждений и осмотру ограничителей перенапряжения производят со снятием напряжения и заземлением контактной сети, с крыши ЭПС. Работая с ОПН, находящимся под контактным проводом, необходимо соблюдать все правила безопасности при работе с высоковольтной аппаратурой электроподвижного состава, а так же правила безопасности при работах на высоте.

## 4.1.2 Организационные и технические мероприятия и последовательность процесса при устранении повреждений ОПН

### 4.1.2.1 Виды повреждений токоприемника

Неисправности ограничителей перенапряжения могут быть двух видов:

1 механические:

- повреждение узлов и деталей ОПН;

2 электрические:

- нарушение работы ОПН вследствие пробоя.

Механические повреждения ОПН в основном происходят из-за неудовлетворительного крепления, ОПН подлежат замене при наличии сколов, трещин, нарушений целостности фарфоровых покрытий, а так же если ток проводимости и сопротивление не соответствуют техническим требованиям – нарушение герметичности и другие отступления от инструкции изготовителя.

Сопротивление ограничителя измеряется мегаомметром на 2,5 кВ, оно должно быть не менее 3000 МОм. Ток проводимости ОПН при напряжении 5 кВ и частоте 50 Гц должен составлять 0,30 – 0,65 мА.

Проверяют надежность и достаточность крепления шлейфа (провода М–70 или ПБСМ–70) к ОПН, крепление провода заземления к ОПН, кронштейну и тяговому рельсу. На опоре проверяют крепление спуска заземления.

### 4.1.2.2 Меры по устранению повреждений

Путем неоднократного включения разъединителя проверяют угол поворота его элементов и одновременность включения ножей (рис. 4.54). Если при включении один из ножей не доходит до положения полного включения более чем на 3 мм, то изменением длины тяги добиваются одновременности включения всех ножей. Плотность прилегания контактных поверхностей проверяют на каждом полюсе щупом толщиной 0,05 мм и шириной 10 мм. Щуп не должен входить на глубину более 4 – 5 мм. Нажатие регулируют затяжкой гаек. Контактующие поверхности должны быть сухими и обезжиренными.

МАСТЕР PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

После зачистки и измерения на все поверхности разъединителя наносят смазку ЦИАТИМ–101.

Регулируют и опробывают взаимодействие привода с разъединителем. Разъединитель должен переключаться легким усилием одной руки, плавно без ударов.

На приводе проверяют его заземление на тяговый рельс или среднюю точку путевого дроссель–трансформатора или контур заземления (в зависимости от места установки). Заземление должно быть глухим и выполнено двойным проводником диаметром не менее 10 мм. Заземляющие проводники должны быть изолированы от земли с применением полиэтиленовых трубок или полушпал.

При наличии моторного привода разъединителя проверяют изоляцию оболочки и брони кабеля дистанционного управления разъединителем от корпуса привода и конструкции его крепления на опоре. Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 кОм.

ЭЧЦ организует немедленный выезд на место повреждения работников ЭЧК для замены ОПН и восстановления контактной сети в соответствии с инструкцией о порядке восстановления поврежденной контактной сети. Число рабочих ОПН на ЭПС должно соответствовать инструкции о порядке использования ОПН при различных условиях эксплуатации.

Работники ЭЧК совместно с локомотивной бригадой определяют возможность дальнейшего следования ЭПС и принимают необходимые меры к быстрейшему освобождению перегона и открытию движения поездов с поднятыми или опущенными токоприемниками.

При снятии напряжения в контактной сети локомотивные бригады и работники ЭЧ выполняют следующие действия:

- в интервале времени до одной минуты включительно проверяется состояние устройств контактной сети и ОПН, включается быстродействующий выключатель (БВ) или масляный выключатель (ВМ) на тяговой подстанции.

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

Если локомотивная бригада обнаружила повреждение контактной сети впереди по пути следования поезда, не позволяющее проследовать поврежденный участок с поднятыми или опущенными токоприемниками, машинист принимает меры к экстренной остановке поезда, опусканию токоприемников и закреплению поезда.

ЭЧЦ незамедлительно направляет на место повреждения контактной сети бригаду работников ЭЧК для производства восстановительных работ.

Во время движения с появлением ненормального токосъема (сильное искрение между контактной сетью и токоприемниками, отрывы токоприемников вследствие неисправности контактной сети или токоприемников) машинист производит смену токоприемников: работавшие токоприемники опускаются, а не работавшие поднимаются.

Если ненормальный токосъем происходит в результате образования на контактной сети и токоприемниках гололеда, изморози, инея или повышенных токовых нагрузок, машинист поднимает на ЭПС дополнительный токоприемник в соответствии с требованиями инструкции о порядке использования токоприемников электроподвижного состава при различных условиях эксплуатации.

При обнаружении на пункте технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ) и в ТЧ ударов, подбоев на токоприемниках, сколов и трещин угольных вставок, отрывов металлокерамических или металлоуглеродистых накладок, следов взаимодействия контактного провода за пределами рабочей части полоза токоприемника мастер ПТОЛ сообщает об этом ЭЧЦ. ЭЧЦ немедленно организовывает внеочередной осмотр контактной сети с целью выявления и устранения ее неисправностей и о принятых мерах уведомляет ТЧ.

#### 4.1.2.3 Безопасность работ при устранении повреждении

Работы по установке, эксплуатации и испытанию ограничителей перенапряжений должны производиться с соблюдением «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок» (М.: Энергоиздат, 1982).

МАСТЕР PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

Работы, выполняемые с применением грузоподъемных механизмов, должны производиться в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» (М.: Металлургия, 1981).

## **4.2 Экспертиза дипломного проекта на соответствие требованиям безопасности и экологичности**

### **4.2.1 Промышленная санитария (гигиена труда)**

Промышленная санитария - система мероприятий и норм, обеспечивающая безопасность работающих от воздействия вредных и опасных производственных факторов. Существуют нормативные документы на вредные факторы, которые воздействуют на рабочих при работах на контактной сети.

Вредные производственные факторы классифицируются на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

К физическим производственным факторами относятся:

- повышенное значение электрического тока через тело человека;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- отклонения от нормированных показателей микроклимата рабочих и производственных помещений (барометрическое давление, температура, относительная влажность, подвижность воздуха);
- повышенный уровень шума, вибрации;
- отклонения от норм значений освещённости, яркости, контрастности, пульсации света.

К вредным химическим производственным факторам относятся:

- токсические - ядовитые вещества и химические соединения, оказывающие вредное действие на организм человека, животных растений;

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

- раздражающие, обладающие свойством вызывать у живых объектов изменения своего состояния или деятельности;

- сенсibiliзирующие, вызывающие повышенную чувствительность организма животного и человека к воздействию каких-либо раздражителей, главным образом химических (сенсibiliзация лежит в основе ряда аллергических заболеваний и снижении иммунитета);

- канцерогенные, воздействие которых на организм, при определённых условиях, вызывает возникновение раковых или других опухолей в организме человека.

К биологическим вредным производственным факторам относятся:

- патогенные (болезнетворные) микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, к которым относятся бактерии, вирусы, грибы;

- макроорганизмы, к которым относятся вредные растения, насекомые, дикие животные.

К психофизиологическим вредным производственным факторам относятся:

- нервно - психические перегрузки, характеризующиеся перенапряжением анализаторов, монотонностью труда, умственным и эмоциональным перенапряжением.

В соответствии со СНиП 23-05-95\* и РД 3215-91 все производственные помещения должны соответствовать нормам искусственного и естественного освещения.

#### **4.2.2 Безопасность труда**

К опасным факторам относятся:

- движущие машины и механизмы, части оборудования и предметы труда;

- расположение рабочего места на высоте;

- острые кромки, шероховатости и заусеницы на заготовках, инструменте и оборудовании;

MASTER PDF EDITOR - DEMO VERSION  
FOR EVALUATION ONLY

- физические перегрузки, характеризующиеся общими энергозатратами организма в течение смены, весом поднимаемых тяжестей, суммарной длиной переходов в течение смены.

Наибольший уровень травматизма, включая смертельный, вызывают наезды подвижного состава на работающих и другие виды движения подвижного состава при маневрах, сцепке, расцепке и т.п. (около 50 %).

Высокий уровень травматизма сохраняется на железнодорожном транспорте по причине поражения электрическим током (10 - 15%).

Поражение электрическим током может произойти при пробое изоляции, при коротком замыкании, при касании человеком токоведущих частей и если человек дотронется до нетоковедущих частей оборудования, находящегося под напряжением открытой частью тела.

Для того чтобы не произошло поражения электрическим током рабочего, все нетоковедущие части электрооборудования заземляются, а также используются индивидуальные средства защиты от поражения электрическим током.

Безопасность производственных процессов достигается путем совершенствования технологии работ, применением машин и механизмов и выполнением организационно-технических мероприятий, а также применением электрозащитных средств.

Вновь поступившие работники обучаются охране труда с последующей проверкой знаний и стажировкой.

Наряду с теоретической подготовкой необходимо проводить практические занятия на полигонах по выработке прочных навыков безопасного выполнения работ, отработке реакций. Рекомендуется проводить конкурсы мастерства бригад и обмена опытом.

При разборе несчастных случаев необходимо устанавливать не только виновных, но и мотивы, причины и побуждения, приведшие к нарушению инструкции и к травмам.



### 4.2.3 Экологическая безопасность проекта

Основную угрозу для окружающей среды при строительстве железной дороги, 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:

- применение дроссель - трансформаторов;
- применение отсасывающих фидеров;
- применение изоляции заземлений от опор.

Кроме того, существует проблема утилизации отходов, в частности отслуживших опор, которые до настоящего времени закапывались в землю, что загрязняет почву. 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 этом разделе рассмотрены следующие вопросы:

- виды повреждений ограничителей перенапряжения;
- порядок и технику безопасности при устранении повреждений ОПН;
- вредные производственные факторы;
- соответствие проекта требованиям безопасности и экологии.

Дипломный проект соответствует всем требованиям безопасности и экологичности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте рассмотрен проект контактной сети постоянного тока с применением ограничителей перенапряжения.

1. Рассчитаны линейные нагрузки главного пути станции и перегона такие как, нагрузка от собственного веса  $10,47 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ , нагрузки веса гололеда контактной подвески  $31,25 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ , ветровые нагрузки на контактный и несущий трос без гололеда  $7,33 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  на несущем тросе и  $7,66 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  на контактном проводе, а так же при наличии гололеда  $4,05 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  на несущем тросе  $3,64 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  на контактном проводе, рассчитаны результирующие нагрузки цепной подвески и сведены в таблицу. Определены натяжения проводов на главных путях станции 16000 Н у несущего троса при беспровесном состоянии и при максимальной интенсивности 14000 Н, у контактного провода номинальное натяжение 10000 Н. Составлена схема питания и секционирования контактной сети. Разработан план контактной сети станции и перегона. Произведен механический расчет анкерного участка полукompенсированной подвески.

2. Рассмотрены виды ограничителей перенапряжения и приведены их характеристики. Приведена техническая характеристика. Рассмотрены преимущества ОПН перед разрядниками.

3. Рассчитано стоимость содержания проектируемого участка контактной сети которая составила 7563786,23 рублей.

4. Рассмотрены вопросы техники безопасности работ при повреждении ограничителей перенапряжения. Проведена экспертиза на соответствие всех разделов дипломного проекта требованиям безопасности и экологичности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Марквардт К. Г. Контактная сеть : учеб. Пособие / К. Г. Марквардт. – М. : Транспорт, 1994. – 335 с.
2. Фрайфельд А. В. Проектирование контактной сети / А. В. Фрайфельд, Г. Н. Брод. – 3-е изд. -М. : Транспорт, 1991. – 335 с.
3. Руководство к проектированию контактной сети: учебное пособие / В. П. Герасимов [и др.] ; под ред. В. П. Герасимов. – М. : УрГАПС, 1995. - 51 с.
4. Купцов Ю. Е. Увеличение срока службы контактного провода : учеб пособие / Ю. Е. Купцов. – М. :Транспорт, 1972. – 160с.
5. Алексеева Л. М. Расчет годовых текущих затрат на содержание контактной сети : метод. Пособие / Л. М. Алексеева. – М. :УрГУПС, 2006. – 11с.
6. Дмитриева В. А. Экономика железнодорожного транспорта : учеб. пособие / В. А. Дмитриев. - М. : Транспорт, 1996г. –206с.
7. Инструкция по безопасности для электромонтеров контактной сети ЦЭ 761. – М. : Транспорт, 2004. – 179с.
8. Памятка по осмотру, содержанию и порядку работы токоприемников электроподвижного состава. Пособие для работников контактной сети. ОАО «РЖД» филиал «Свердловская железная дорога», Служба электрификации и электроснабжения. – М. : Транспорт, 2004.- 16с.
9. Крутякова В. С. Охрана труда и основы экологии на железнодорожном транспорте и в транспортном строительстве : учеб пособие / В.С. Крутякова – М. : Транспорт, 1993. – 280 с.
10. Инструкция по сигнализации на железных дорогах Российской Федерации ЦРБ-176. – М. : Транспорт, 1994. – 128 с.
11. Охрана труда : Учебник для студентов вузов / Князевский Б. А. [и др.] ; под ред. Б. А. Князевского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1982. – 311 с., ил.