

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.

«14» 06 2019 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема: Проект электрификации железной дороги на постоянном токе

(пояснительная записка)

23.05.05.22.ПД.СОэ524.01.ПЗ

(шифр документа)

Разработал: студент СОэ-524 Перминов В.А.
(студент-дипломник) (группа) (подпись) (дата) (Ф.И.О.)

Руководитель: к.т.н. профессор Пышкин А.А.
(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: к.т.н. доцент Ковалев А.А.
(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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

к.т.н., доцент Ковалев А.А.

«22» 02 2019 г.

Задание

на дипломный проект студенту

Перминову Владиславу Анатольевичу
(фамилия, имя, отчество)

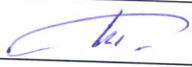
- 1 Тема проекта Проект электрификации железной дороги на постоянном токе утверждена приказом по университету от «27» февраля 2019 г. № 338-со
- 2 Срок сдачи студентом законченного проекта 21.06.19
- 3 Исходные данные к проекту приведены на странице 13 пояснительной записки
- 4 Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов) 1. Расчет параметров системы электроснабжения двухпутного участка железной дороги;
2. Исследование защит опор контактной сети, изолированных от рельса;
3. Техничко-экономическое сравнение двух вариантов размещения подстанций;
4. Безопасность жизнедеятельности.
- 5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей) 1. Тяговые расчеты двухпутного участка железной дороги;
 - 1.1 Тяговые расчеты двухпутного участка железной дороги для четного направления;
 - 1.2 Тяговые расчеты двухпутного участка железной дороги для нечетного направления;

2. Схема присоединения группы тяговых подстанций к ЛЭП;
3. Схема питания и секционирования контактной сети;
4. Технико-экономическое сравнение двух вариантов размещения подстанций;
5. Принципиальная схема ЗОИР;
6. Принципиальная схема диодной защиты;
7. Принципиальная схема дугового короткозамыкателя;
8. Меры электробезопасности при тушении пожара на электрифицированных линиях.

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

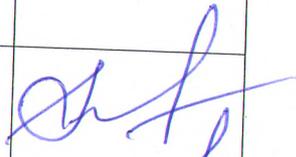
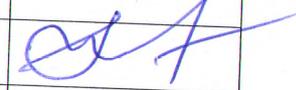
Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		задание выдал	задание принял
Экономический	Афанасьева Н.А.	26.03.2019 	03.06.2019 
Безопасность жизнедеятельности	Белинский С.О.	26.03.2019 	03.06.2019 

7 Дата выдачи задания 26.03.2019

Руководитель 
(подпись)

Задание принял к исполнению студент 
(подпись)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов дипломного проекта (работы)	Срок выполнения этапов проекта (работы)	Примечание
Утверждение тем ВКР	15.01.19	выполнено
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	
Утверждение ВКР у заведующего кафедрой	17.06.19-21.06.19	
Получение рецензии на ВКР	17.06.19-21.06.19	
Защита ВКР	01.07.19-08.07.19	

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

к.т.н., доцент Ковалев А.А.

«27» 02 2019 г.

**Задание
на специальный раздел ВКР**

Студент Перминов Владислав Анатольевич Группа СОэ-524
(Фамилия, Имя, Отчество)

Технико-экономическое сравнение двух вариантов размещения подстанций
(название специального раздела)

1. Тема Проект электрификации железной дороги на постоянном токе
(название темы ВКР)

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

Выпускающая кафедра Электроснабжение транспорта

Руководитель проекта к.т.н. профессор Пышкин А.А.

(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 03.06.2019

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1) Определение капитальных затрат на сооружение двухпутного участка постоянного тока

2) Определение годовых эксплуатационных расходов

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

1) Технико-экономическое сравнение двух вариантов размещения подстанций

7. Дата выдачи задания 26.03.2019 Консультант Н.А. Афанасьева

(подпись)

Согласовано:

14.06.2019.

(дата и подпись руководителя ВКР)

А.А. Пышкин

Принято к исполнению

26.03.2019

(дата и подпись студента-дипломника)

В.А. Перминов

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

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

А.А. Ковалев
к.т.н., доцент Ковалев А.А.

«27» 02 2019 г.

**Задание
на специальный раздел ВКР**

Студент Перминов Владислав Анатольевич Группа СОэ-524
(Фамилия, Имя, Отчество)

Безопасность жизнедеятельности

(название специального раздела)

1. Тема Проект электрификации железной дороги на постоянном токе

(название темы ВКР)

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

Выпускающая кафедра Электроснабжение транспорта

Руководитель проекта к.т.н. профессор Пышкин А.А.

(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 03.06.2019

5. Содержание специального раздела (перечень подлежащих разработке вопросов)

1) Меры электробезопасности при тушении пожара на электрифицированных линиях;

2) Экспертиза дипломного проекта на соответствие требованиям безопасности жизнедеятельности.

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

1) Меры электробезопасности при тушении пожара на электрифицированных линиях.

7. Дата выдачи задания 26.03.2019 Консультант *С.О. Белинский* С.О. Белинский
(подпись)

Согласовано: *А.А. Пышкин* А.А. Пышкин
(дата и подпись руководителя ВКР)

Принято к исполнению *В.А. Перминов* В.А. Перминов
(дата и подпись студента-дипломника)

РЕФЕРАТ

В данном дипломном проекте всего: страниц 80, рисунков 6, таблиц 36, использованных источников 12, чертежей 9 листов.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, КОНТАКТНАЯ СЕТЬ, ТЯГОВАЯ СЕТЬ, ПОСТОЯННЫЙ ТОК, УСЛОВНЫЙ ПЕРЕГОН, БЛОК-УЧАСТОК, ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СЕЧЕНИЕ, ФИДЕРНАЯ ЗОНА, МЕЖПОЕЗДНОЙ ИНТЕРВАЛ, РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ТОКОПРИЕМНИК, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ.

ELECTRICITY SUPPLY, CONTACT NETWORK, TRACTION NETWORK, CONSTANT CURRENT, CONDITIONAL PERIOD, SITE LOCATION, VOLTAGE FREQUENCY, ECONOMIC SECTOR, FIDER ZONE, INTERSTANDING INTERVAL, SWITCHBOARD SETTING, ACCUMULATOR, CAPACITY.

Объект исследования: участок железной дороги на постоянном токе.

Цель: выполнить проект электрификации участка железной дороги на постоянном токе, соответствующий всем установленным нормам. Исследовать защиту опор, изолированных от рельса.

Экономическая эффективность: произведено технико-экономическое сравнение двух вариантов размещения подстанций. Определены годовые эксплуатационные расходы.

					23.05.05.22.ПД.СОэ524.01.ПЗ.				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Проект электрификации железной дороги на постоянном токе	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Перминов В.А.		14.06.19		У	7	80	
Пров.		Пышкин А.А.		14.06.19					
Н. контр.		Ковалев А.А.		14.06	ФГБОУ ВО УрГУПС Кафедра «Электроснабжение транспорта»				
Утв.		Ковалев А.А.		14.06					

ОТЗЫВ

О выпускной работе обучающегося студента факультета ЭМФ
Специальности 23.05.05 – Системы обеспечения движения поездов
Специализация «Электроснабжение железных дорог»

Группы СОЗ-524 Перминова В.А.

Тема заданного проекта: «Проект электрификации участка железной дороги на постоянном токе»
Проект выполнен в соответствии с заданием в полном объеме. В нем выполнены расчеты оптимального расстояния между тяговыми подстанциями, выбраны две варианта расположения подстанций, для которых определены трансформаторная и контактная мощности, элемент троллейной контактной сети. На основе экономического сравнения определены варианты размещения подстанций, для которого рассчитана требуемая мощность участка и выбраны уставки БВ на подстанциях. В целях проекта рассмотрена защита этой контактной сети с разделенными опорами. В целом директором проекта заслуживает оценка «отлично», а Перминов В.А. признан квалифицированным специалистом.

Руководитель дипломного проекта

 / Пышкин А.А.
14.06.19г.



АНТИПЛАГИАТ
ТВОРИТЕ СОБСТВЕННЫМ УМОМ

Уральский государственный
университет путей сообщения

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе
Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Перминов Владислав Анатольевич
Подразделение	Кафедра "Электроснабжение транспорта"
Тип работы	Дипломная работа
Название работы	Дипломный проект Перминов В.А.
Название файла	00_Пояснительная записка Перминов В.А..pdf
Процент заимствования	13,26%
Процент цитирования	0,50%
Процент оригинальности	86,24%
Дата проверки	07:43:54 13 июня 2019г.
Модули поиска	Сводная коллекция ЭБС; Модуль поиска общеупотребительных выражений; Кольцо вузов; Модуль поиска "УрГУПС"; Модуль поиска перефразирований Интернет; Модуль поиска Интернет; Цитирование; Коллекция РГБ
Работу проверил	Лесников Дмитрий Валентинович ФИО проверяющего
Дата подписи	13.06.19  Подпись проверяющего

Чтобы убедиться
в подлинности справки,
используйте QR-код, который
содержит ссылку на отчет.



Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 Расчет параметров системы электроснабжения двухпутного участка железной дороги	11
1.1 Исходные данные	11
1.2 Определение расчетных режимов движения	13
1.3 Определение оптимального расстояния между тяговыми подстанциями.....	14
1.4 Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по межподстанционной зоне и его распределение по тяговым подстанциям.....	17
1.5 Определение мощности тяговой подстанции, выбор силового оборудования	19
1.6 Расчет сечения проводов контактной сети.....	28
1.7 Проверка проводов выбранной контактной подвески на нагревание	31
1.8 Определение действительной пропускной способности участка	33
1.9 Оценка уровня напряжения в тяговой сети на блок- участке лимитирующего перегона.....	43
1.10 Расчет токовой защиты в тяговой сети	45
2 Исследование защит опор контактной сети, изолированных от рельса.....	51
2.1 Краткая характеристика и принцип действия.....	51
2.2 Основные параметры защиты	53
2.3 Входное устройство	54
2.4 Монтаж защиты.....	55
2.5 Проверка работы защиты	58
2.6 Техника безопасности.....	59
2.7 Диодная защита	59
3 Технико – экономическое сравнение двух вариантов размещения подстанций.	62
3.1 Определение капитальных затрат на сооружение двухпутного участка постоянного тока	62
3.2 Определение годовых эксплуатационных расходов	66
4 Безопасность жизнедеятельности.....	70
4.1 Меры электробезопасности при тушении пожара на электрифицированных линиях.....	70
4.2 Экспертиза дипломного проекта на соответствие требованиям безопасности жизнедеятельности.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	80

ВВЕДЕНИЕ

Россия – великая страна, занимающая огромную по площади территорию. Настоящий транспортный переворот в России наступил во второй половине XIX века вместе с наступлением промышленного переворота. Эти перемены привели Россию к созданию железнодорожного вида транспорта. Увеличение объемов перевозимых грузов и интенсивности движения поездов по основным транспортным магистралям привело к появлению электрифицированных железных дорог. Электрификация железных дорог – это высокоэффективный технологический процесс, который позволяет не только увеличить скорость перевозок, надежность работы и вес составов, но и снизить загрязняющее воздействие на окружающую среду, уменьшить эксплуатационные расходы.

Электрическая энергия в России вырабатывается электростанциями, являющимися предприятиями энергетической отрасли. Железнодорожный транспорт потребляет около 7% электроэнергии, производимой в нашей стране. Она расходуется на обеспечение тяги поездов и питание нетяговых потребителей, к которым относятся железнодорожные станции с их инфраструктурой, устройства локомотивного, вагонного и путевого хозяйства, а также устройства регулирования движения поездов. Электрифицированные железные дороги являются потребителем первой категории, которые получают электроэнергию от систем, объединяющих в себе несколько электростанций и тяговых подстанций.

Существует два вида электрификации железных дорог: на постоянном и на переменном токе.

На железных дорогах, электрифицированных на постоянном токе, тяговые подстанции выполняют две функции: понижают напряжение подводимого трехфазного тока с помощью тяговых трансформаторов и преобразуют его в постоянный с помощью выпрямителей. От тяговой подстанции электричество через защитный быстродействующий выключатель подается в контактную сеть по питающей линии – фидеру, а из рельсов возвращается обратно на тяговую подстанцию по отсасывающей линии.

Принципиальный признак системы тягового электроснабжения постоянного тока – электрическая связь тягового двигателя с контактной сетью, то есть имеется контактная система токосъема.

Достоинство системы постоянного тока определяется качеством серийного двигателя постоянного тока, характеристика которого в большей мере удовлетворяет требованиям, предъявляемым к тяговым двигателям.

Тяговая характеристика при последовательном возбуждении двигателя позволяет развивать значительную силу тяги на крутых подъемах при сравнительно высокой скорости. В результате мощность, потребляемая тяговыми двигателями в области больших значений сил тяги, повышается.

Таким образом, при использовании двигателей с последовательным возбуждением создаются достаточно благоприятные условия как для работы

системы электроснабжения, так и для обеспечения достаточно высоких скоростей движения составов на крутых и затяжных подъемах.

Так же достоинством системы постоянного тока является простое осуществление рекуперации электрической энергии.

Целью данного дипломного проекта электрификация участка железной дороги на постоянном токе.

Для этого нам предстоит на основе тяговых расчетов двухпутного участка магистральной железной дороги и перспективных на 5 год эксплуатации железнодорожных размеров движения, произвести расчет оптимального расстояния между тяговыми подстанциями, на основе которого выбрать два варианта размещения тяговых подстанций на электрифицированном участке. Для каждого варианта размещения определить трансформаторную и выпрямительную мощности подстанций и выбрать типовое оборудование: силовые трансформаторы и выпрямительные агрегаты.

На основе минимума годовых приведенных эксплуатационных расходов определить сечение проводов контактной сети для всех межподстанционных зон 1 и 2 вариантов размещения тяговых подстанций для узловой схемы питания. Выбранную стандартную подвеску контактной сети, проверить на нагревание по максимальному эффективному току фидера.

Представить экономическое сравнение двух вариантов размещения подстанций, затем выявить вариант размещения подстанций с меньшими расходами, который будет рекомендован для внедрения.

На основе расчета потери напряжения в тяговой сети и на подстанции для каждой межподстанционной зоны определить действительную пропускную способность участка с учетом действительного уровня напряжения в тяговой сети на лимитирующем перегоне, которая позволит реализовать заданные размеры движения.

Произвести расчет уровня напряжения на блок участке лимитирующего перегона, который должен быть больше минимально допустимого уровня напряжения в тяговой сети постоянного тока, что позволит нам реализовать графиковую скорость движения.

Произвести расчет минимального тока короткого замыкания и максимального рабочего тока, для определения тока уставки быстродействующих выключателей на фидере подстанций и постов секционирования, которая будет отвечать требованиям селективности работы защиты.

В данном дипломном проекте рассмотрена защита опор контактной сети, изолированных от рельса (ЗОИР), которая обеспечивает отключение быстродействующих выключателей, питающих защищаемую зону, при пробое изоляции одной из опор. Для исключения мертвых зон и обеспечения необходимой чувствительности и резервирования в случае отказа одного из короткозамыкателей на каждой защищаемой зоне, не зависимо от ее длины, должны устанавливаться три короткозамыкателя (два по концам один в середине).

1 Расчет параметров системы электроснабжения двухпутного участка железной дороги

1.1 Исходные данные

Таблица 1.1 – Результаты тяговых расчетов (четное направление)

Перегон	Характеристики элемента профиля пути		
	Средний ток I , А	Время хода Δt , мин	Длина ΔL , км
А-Б	0	0,5	0,5
	1580	2,5	2,6
	0	1,5	1,6
	630	5,0	5,9
	1370	1,0	1,0
	0	0,5	0,7
	1730	1,0	1,0
Б-В	0	0,7	0,9
	1550	0,4	0,3
	1410	3,0	3,1
	0	0,5	0,5
	1920	1,0	1,1
	1700	1,0	1,1
	0	0,8	1,0
	2010	0,5	0,5
	1710	0,5	0,6
	0	0,5	0,7
В-Г	0	1,5	1,3
	2090	0,5	0,5
	1940	1,0	1,1
	1660	0,5	0,7
	940	0,8	0,9
	1680	9,0	9,2
	1430	1,0	0,9
	0	1,2	1,5
	1270	0,5	0,5
	1530	3,0	3,3
	0	1,5	1,5
	1250	0,5	0,5
	Г-Д	0	2,5
1420		6,5	7,9
0		0,5	0,6
1870		0,8	0,6
1610		0,7	0,7
Д-Е	0	0,5	0,6
	1420	1,5	1,6
	0	1,1	1,4
	1370	0,6	0,7
	0	8,5	9,2

Таблица 1.2 – Результаты тяговых расчетов (нечетное направление)

Перегон	Характеристики элемента профиля пути		
	Средний ток I , А	Время хода Δt , мин	Длина ΔL , км
1	2	3	4
Е-Д	2210	0,8	0,6
	0	1,0	1,0
	2080	2,0	1,4
	2000	1,0	0,9
	1780	1,5	1,3
	1620	1,0	1,0
	710	3,0	3,1
	1590	1,0	0,9
	950	2,0	2,2
	0	1,0	1,1
Д-Г	2030	0,8	0,5
	0	2,5	2,5
	2120	1,3	1,0
	1680	2,5	2,8
	0	0,5	0,5
	940	1,1	1,3
	0	1,0	1,0
	2050	1,0	0,7
	1800	2,5	2,4
Г-В	1630	1,5	1,6
	690	1,0	0,7
	0	3,0	3,5
	1610	2,5	2,8
	0	1,2	1,4
	2010	1,0	0,6
	1660	1,0	0,9
	0	1,5	1,5
	1760	1,6	1,6
	0	2,5	2,9
	1610	2,0	1,9
	0	1,0	1,3
	1560	1,0	0,8
2010	0,5	0,4	
В-Б	0	1,5	1,5
	2160	1,0	0,6
	1840	0,4	0,4
	1690	0,5	0,4
	0	1,5	1,9
	2090	1,0	0,6
	1800	1,0	0,6
	1630	1,0	0,9
	700	2,5	2,9
Б-А	0	1,0	0,9
	1590	0,5	0,5
	1420	3,5	3,8
	820	3,0	3,5

Окончание таблицы 1.2

1	2	3	4
Б-А	1430	1,0	1,2
	1570	1,5	1,4
	1420	1,0	0,6
	0	0,8	0,9
	1860	0,7	0,5

Таблица 1.3 – Значения пикетажа для станций и тяговых подстанций

Станция	Пикетаж станции
А	0
Б	13,3
В	23,1
Г	45,0
Д	57,7
Е	71,2

Минимальный межпоездной интервал: 8 мин.

Тип рельса: Р-65

Трансформаторная мощность для питания нетяговой нагрузки: 2400 кВА

Стоимость 1кВт·ч: 3 руб.

Схема соединения контактных подвесок соседних путей: узловая

Суточные размеры движения на 5 год эксплуатации в месяц интенсивной работы (четное/нечетное направление) 67/84

Мощность короткого замыкания на шинах ввода тяговой подстанции (ТП) 1610 МВА

$$S_p = 27\% S_T$$

ЛЭП – 110 кВ

1.2 Определение расчетных режимов движения

К основным параметрам системы электроснабжения электрифицированных железных дорог относятся расстояния между тяговыми подстанциями, мощность ТП, сечение проводов контактной сети (КС), питающих и отсасывающих линий.

Если пропускная способность участка ограничивается системой сигнализации, то при автоблокировке на двухпутном участке она находится по выражению:

$$N_0 = \frac{1440}{\theta}, \quad (1.1)$$

где θ – минимальный межпоездной интервал.

$$N_0 = \frac{1440}{8} = 180 \text{ пар поездов/сутки.}$$

Определение экономического сечения КС производят при нормальной схеме питания КС для среднесуточных размеров движения на пятый год эксплуатации, которые можно определить по выражению:

$$N' = \frac{N}{k_n}, \quad (1.2)$$

где N – суточные среднегодовые размеры движения в месяц интенсивной работы на пятый год эксплуатации;
 k_n – коэффициент годовой неравномерности перевозок, принимаем равным 1,125.

$$N' = \frac{67}{1,125} = 60 \text{ поездов сутки;}$$

$$N' = \frac{84}{1,125} = 75 \text{ поездов сутки.}$$

Проверку проводов КС на нагревание и проверку уровня напряжения в ТС выполняют для режима полного использования пропускной способности участка.

1.3 Определение оптимального расстояния между тяговыми подстанциями

Расстояние между тяговыми подстанциями является одним из основных параметров системы электроснабжения электрифицированных железных дорог.

Оптимальная его величина определяется целым рядом факторов [4]. Ориентировочно значение оптимального расстояния между тяговыми подстанциями $L_{\text{опт}}$ для заданного участка может быть определено по кривым, приведенным в [4].

Эти кривые аппроксимируются следующим выражением, км:

$$L_{\text{опт}} = a p_{\text{ср}}^b, \quad (1.3)$$

где « a » и « b » – постоянные аппроксимирующего выражения (для системы постоянного тока соответственно 108 и 0,36);

$P_{\text{ср}}$ – среднегодовая линейная нагрузка, отнесенная к шинам тяговых подстанций, кВт/км.

Среднегодовая линейная нагрузка $P_{\text{ср}}$ определяется выражением, кВт/км:

$$P_{\text{ср}} = \frac{k_3 k_d k_{\text{ТС}} k_{\text{М.Э}}}{24 k_B L_{\text{уч}}} \sum_{p=1}^{\nu} (A_p N_p), \quad (1.4)$$

- где A_p – расход электроэнергии на движение поезда типа « p » по рассматриваемому участку (для участка постоянного тока в кВт·ч);
 N_p – суточные размеры движения поездов типа « p » на пятый год эксплуатации в месяц интенсивной работы;
 ν – суммарное число типов поездов, обращающихся на участке;
 $L_{\text{уч}}$ – длина рассматриваемого участка, км;
 k_3 – коэффициент, учитывающий увеличение потребления электроэнергии на тягу поездов в зимнее время, можно принять равным 1,08 [5];
 k_d – коэффициент, учитывающий потребление электроэнергии на собственные нужды электровозов;
 $k_{\text{ТС}}$ – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в тяговой сети;
 $k_{\text{М.Э}}$ – коэффициент мощности электровоза.

$$A_p = k_T \sum_{i=1}^{M_p} I_i \Delta t_i, \quad (1.5)$$

- где M_p – число попарных значений тока и времени его потребления по элементам пути на рассматриваемом участке для поезда типа « p »;
 I_i – среднее значение тока поезда на i -ом элементе пути, А;
 Δt_i – время хода поезда по i -му элементу пути, мин.;
 k_T – расчетный коэффициент для определения расхода электроэнергии на тягу поездов.

Расход электроэнергии на движение одного поезда типа « p » по рассматриваемому участку равен:

На четном направлении:

$$A_{p_{\text{чет}}} = 0,05 \cdot (1580 \cdot 2,5 + 630 \cdot 5 + 1370 + 1730 + 1550 \cdot 0,4 + 1410 \cdot 3 + \\ + 1920 + 1700 + 2010 \cdot 0,5 + 1710 \cdot 0,5 + 2090 \cdot 0,5 + 1940 + 1660 \cdot 0,5 + \\ + 940 \cdot 0,8 + 1680 \cdot 9 + 1430 + 1270 \cdot 0,5 + 1530 \cdot 3 + 1250 \cdot 0,5 + 1420 \cdot 6,5 + \\ + 1870 \cdot 0,8 + 1610 \cdot 0,7 + 1420 \cdot 1,5 + 1370 \cdot 0,6) = 3115,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

На нечетном направлении:

$$A_{p_{\text{нечет}}} = 0,05 \cdot (2210 \cdot 0,8 + 2080 \cdot 2 + 2000 + 1780 \cdot 1,5 + 1620 + 710 \cdot 3 + \\ + 1590 + 950 \cdot 2 + 2030 \cdot 0,8 + 2120 \cdot 1,3 + 1680 \cdot 2,5 + 940 \cdot 1,1 + 2050 + \\ + 1800 \cdot 2,5 + 1630 \cdot 1,5 + 690 + 1610 \cdot 2,5 + 2010 + 1660 + 1760 \cdot 1,6 + 1610 \cdot 2 + \\ + 1560 + 2010 \cdot 0,5 + 2160 + 1840 \cdot 0,4 + 1690 \cdot 0,5 + 2090 + 1800 + 1630 + \\ + 700 \cdot 2,5 + 1590 \cdot 0,5 + 1420 \cdot 3,5 + 820 \cdot 3 + 1430 + 1570 \cdot 1,5 + 1420 + \\ + 1860 \cdot 0,7) = 3958,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Среднегодовая линейная нагрузка $P_{\text{ср}}$ равна:

$$P_{\text{ср}} = \frac{1,08 \cdot 1,02 \cdot 1,07 \cdot 1}{24 \cdot 1,125 \cdot 71,2} (3115,1 \cdot 67 + 3958,8 \cdot 84) = 331,86 \text{ кВт/км}.$$

Тогда оптимальное расстояние между тяговыми подстанциями будет равно:

$$L_{\text{опт}} = 108 \cdot 331,86^{-0,36} = 13,36 \text{ км}.$$

На основе найденного значения оптимального расстояния между подстанциями намечаются конкретные места их расположения. Выбор месторасположения тяговых подстанций осуществляется с учетом целого ряда факторов: расположения отдельных пунктов, профиля участка, конфигурации линии внешнего электроснабжения, величины и расположения не тяговой нагрузки, обеспечения жилищно-бытовых условий для обслуживающего персонала. Необходимо учитывать, что подстанции, как правило, в силу ряда причин располагаются относительно оси станций со сдвигом, в отдельных случаях до 1...2 км.

1.4 Расчет расхода электроэнергии на движение поезда по межподстанционной зоне и его распределение по тяговым подстанциям

Значение расхода электроэнергии необходимо для расчета параметров системы электроснабжения и показателей ее работы, в дальнейшем, опираясь на этот расчет, как базовый мы определим возможность корректного электроснабжения заданного участка в указанных условиях работы.

Расход ЭЭ на движение одного поезда по фидерной зоне (ФЗ) можно определить из выражения:

$$A = k_T \cdot \sum_{i=1}^n I_i \cdot \Delta t_i, \quad (1.6)$$

- где I_i – ток, потребляемый поездом на i -м элементе пути;
 Δt_i – время движения поезда по i -му элементу пути;
 k_T – коэффициент, определяемый родом тока, для постоянного тока $k_T = 0,05$.

Часть расхода ЭЭ, отнесенная к подстанции, найдем по выражению

$$A' = k_T \cdot \sum_{i=1}^n \left(I_i \cdot \Delta t \cdot \frac{L-x}{L} \right), \quad (1.7)$$

- где L – длина фидерной зоны;
 x – расстояние от рассчитываемой ТП до середины i -го участка.

Выполним данный расчет для четного направления первой межподстанционной зоны «АБ» с помощью построенных по исходным данным тяговых расчетов и графиков поездного тока по участку (приложение А и Б).

Общий расход электроэнергии:

$$A = 0,05 \cdot (1580 \cdot 2,5 + 630 \cdot 5 + 1370 \cdot 1 + 1730 \cdot 1) = 510 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Расход электроэнергии, отнесенный к левой тяговой подстанции:

$$A'_{\text{л}} = 0,05 \cdot \left(\begin{aligned} &1580 \cdot 2,5 \cdot \frac{(13,3 - 1,8)}{13,3} + 630 \cdot 5 \cdot \frac{13,3 - 7,65}{13,3} + \\ &+ 1370 \cdot 1 \cdot \frac{(13,3 - 11,1)}{13,3} + 1730 \cdot 1 \cdot \frac{(13,3 - 12,8)}{13,3} \end{aligned} \right) = 252,26 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Расход электроэнергии, отнесенный к правой тяговой подстанции:

$$A'_{\text{п}} = 0,05 \cdot \left(\begin{aligned} &1580 \cdot 2,5 \cdot \frac{(13,3 - 11,5)}{13,3} + 630 \cdot 5 \cdot \frac{13,3 - 5,65}{13,3} + \\ &+ 1370 \cdot 1 \cdot \frac{(13,3 - 2,2)}{13,3} + 1730 \cdot 1 \cdot \frac{(13,3 - 0,5)}{13,3} \end{aligned} \right) = 257,74 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$A = A'_{\text{л}} + A'_{\text{п}};$$

$$510 = 252,26 + 257,74;$$

$$510 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 510 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Аналогично определяется расход ЭЭ для других направлений и ФЗ. Результаты расчета приведены в таблице 1.4 и 1.5.

Таблица 1.4 – Результаты расчета электроэнергии на движение поезда для 1 варианта расположения тяговых подстанций

Фидерная зона	Длина, км.	Расход ЭЭ на движение поезда, кВт·ч		
		Общий	Отнесенный	
			К левой ТП	К правой ТП
Четное направление				
АБ	13,3	510	252,26	257,74
БВ	11,8	588,15	309,615	278,535
ВГ	17,9	1245,45	654,1	591,35
ГД	14	567,55	198,715	368,835
ДЕ	14,2	203,95	173,35	30,6
Нечетное направление				
АБ	13,3	736,6	399,01	337,59
БВ	11,8	678,8	337,33	341,47
ВГ	17,9	700,35	387,925	312,425
ГД	14	869,95	498,305	371,645
ДЕ	14,2	973,1	402,08	571,02

По результатам расчетов была составлена расчетная схема, изображенная на рисунке 1.1.

Таблица 1.5 – Результаты расчета электроэнергии на движение поезда для 2 варианта расположения тяговых подстанций

Фидерная зона	Длина, км.	Расход ЭЭ на движение поезда, кВт·ч		
		Общий	Отнесенный	
			К левой ТП	К правой ТП
1	2	3	4	5
Четное направление				
АБ	12,3	423,5	234,83	188,67
БВ	12,8	674,65	368,53	306,12
ВГ	17,9	1245,45	654,1	591,35
ГД	13	492,75	174,37	318,38
ДЕ	15,2	278,75	233,305	45,445
Нечетное направление				
АБ	12,3	728,65	371,59	357,06
БВ	12,8	686,75	318,89	367,86
ВГ	17,9	700,35	387,925	312,425
ГД	13	869,95	469,715	400,235
ДЕ	15,2	973,1	375,62	597,48

По результатам расчетов была составлена расчетная схема, изображенная на рисунке 1.2.

1.5 Определение мощности тяговой подстанции, выбор силового оборудования

Для нормального функционирования системы электроснабжения участка, необходимо правильно выбрать оборудование тяговых подстанций, а для этого определить возможные режимы их работы и потребляемую электроэнергию.

В качестве расчетной возьмем наиболее загруженную тяговую подстанцию, и выберем для нее тяговые и преобразовательные трансформаторы.

Определим мощность расчетной тяговой подстанции В. Для этого определим мощность необходимую на тягу. Для системы постоянного тока ее можно найти по выражению:

$$S_T = \frac{(P' + P'') k_M k_\varepsilon}{\cos\varphi}, \quad (1.8)$$

где P' и P'' – суточные среднегодовые нагрузки плеч питания подстанции в месяц интенсивной работы на пятый год

- эксплуатации;
- k_3 – коэффициент эффективности тяговой нагрузки подстанции;
 - k_m – коэффициент, учитывающий влияние внутрисуточной неравномерности движения на износ изоляции обмоток трансформатора;
 - $\cos\varphi$ – коэффициент мощности подстанции, принимаем равным 0,97.

Значение коэффициента k_3 может быть определено по формуле:

$$k_3 = \sqrt{\frac{c_1 T}{N_2(t_{T2} + t_{T4}) + N_1(t_{T1} + t_{T3})} + 1 - \frac{c_2 N \theta_{min}}{N_2(t_2 + t_4) + N_1(t_1 + t_3)}}, \quad (1.9)$$

- где
- c_1 и c_2 – коэффициенты, значения которых определяются схемой питания КС (при двухстороннем питании $c_1 = 1,4$; $c_2 = 1,33$);
 - N – среднесуточное число поездов в оба направления движения;
 - t_1 и t_2 – полное время хода поезда по межподстанционной зоне в четном и нечетном направлении соответственно;
 - t_{T1} и t_{T2} – время хода под током по рассматриваемой межподстанционной зоне в четном и нечетном направлении соответственно.

$$k_3 = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 24 \cdot 60}{84(8,9 + 8,5) + 67(7,1 + 15,6)} + 1 - \frac{1,33 \cdot \frac{(67 + 84)}{2} \cdot 8}{84(12,5 + 17,1) + 67(11,1 + 16,8)}} = 1,224.$$

Значение коэффициента k_m можно определить аппроксимированным выражением вида:

$$k_m = (-0,166 \cdot t + 1,204) \cdot \left(\frac{N_1 + N_2}{2 \cdot N_0} \right)^{-0,499t^2 + 0,768t - 0,677}, \quad (1.10)$$

- где
- N_1 и N_2 – среднесуточные размеры движения на пятый год эксплуатации в месяц интенсивной работы соответственно в четном и нечетном направлении;
 - N_0 – максимальная пропускная способность участка,

- ограниченная только системой сигнализации;
 t – среднее время хода по подстанционной зоне.

Среднесуточную потребляемую мощность для плеча питания определим по выражению:

$$P^{('')} = \frac{k_3 \cdot k_d \cdot k_{TC}}{24} \cdot \left(A_{\text{чет}}^{('')} \cdot N_{\text{чет}} + A_{\text{нечет}}^{('')} \cdot N_{\text{нечет}} \right), \quad (1.11)$$

- где k_3 – коэффициент увеличения потребления ЭЭ на тягу поездов в зимнее время $k_3 = 1,08$;
 k_d – коэффициент, учитывающий потребление ЭЭ на собственные нужды, для постоянного тока $k_d = 1,02$;
 k_{TC} – коэффициент потери ЭЭ в ТС, для постоянного тока $k_{TC} = 1,07$;
 $A^{('')}$ – расход ЭЭ на движение одного поезда основного типа, отнесенный к соответствующему плечу питания ТП.

Необходимую тяговую и районную нагрузку найдем по выражению:

$$S = (S_T + S_p) \cdot k_p, \quad (1.12)$$

- где S_p – необходимая трансформаторная мощность для питания районной нагрузки $S_p = 31\% S_T$;
 k_p – коэффициент, учитывающий несовпадение максимумов тяговой и районной нагрузок, $k_p = 0,93$.

Расчетным режимом для определения выпрямительной мощности является полное использование пропускной способности. Поэтому ее можно определить по выражению:

$$P_{\text{выпр}} = P'_{\text{выпр}} + P''_{\text{выпр}}, \quad (1.13)$$

- где $P'_{\text{выпр}}$ и $P''_{\text{выпр}}$ – выпрямительная мощность, отнесенная к соответствующему плечу питания, которую можно найти по выражению:

$$P^{('')}_{\text{выпр}} = \frac{k_3 k_d k_{TC}}{24} \left(A'_{\text{чет}}^{('')} + A'_{\text{нечет}}^{('')} \right) N_0, \quad (1.14)$$

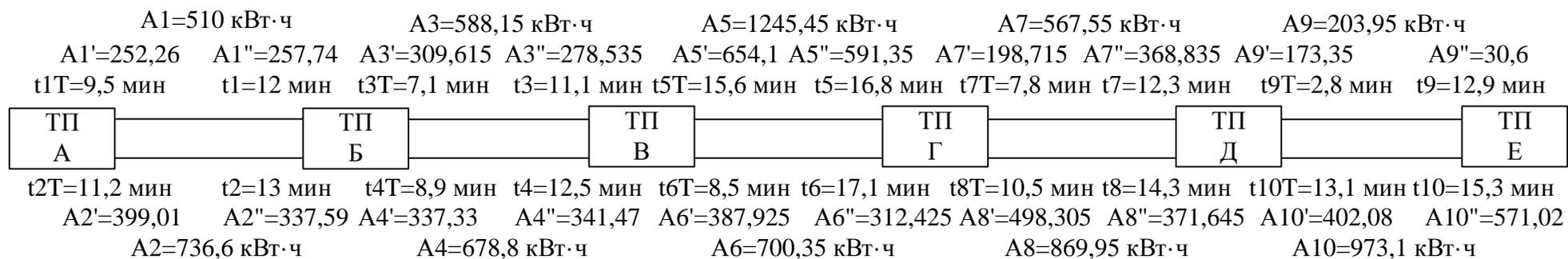


Рисунок 1.1 – Расчетная схема для 1 варианта расположения тяговых подстанций

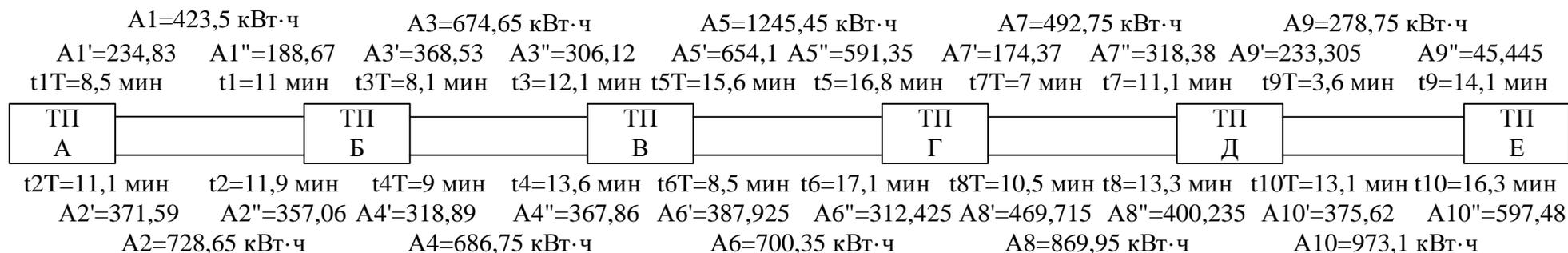


Рисунок 1.2 – Расчетная схема для 2 варианта расположения тяговых подстанций

Среднесуточная мощность левого и правого плеча питания для расчетной подстанции:

$$P' = \frac{1,08 \cdot 1,02 \cdot 1,07}{24} \cdot (654,1 \cdot 67 + 387,925 \cdot 84) = 3744,1 \text{ кВт};$$

$$P'' = \frac{1,08 \cdot 1,02 \cdot 1,07}{24} \cdot (278,535 \cdot 67 + 341,47 \cdot 84) = 2319,92 \text{ кВт}.$$

Среднее время хода по подстанционной зоне:

$$t = \frac{11,1 + 16,8 + 12,5 + 17,1}{60 \cdot 2} = 0,479 \text{ ч.}$$

Тогда можно определить коэффициент k_M :

$$k_M = (-0,166 \cdot 0,479 + 1,204) \cdot \left(\frac{67 + 84}{2 \cdot 180} \right)^{-0,499 \cdot 0,479^2 + 0,768 \cdot 0,479 - 0,677} = 1,624.$$

Тогда мощность на тягу:

$$S_T = \frac{(3744,1 + 2319,92) \cdot 1,624 \cdot 1,224}{0,97} = 12426,71 \text{ кВА}.$$

Необходимая трансформаторная мощность:

$$S = (12426,71 + 3355,21) \cdot 0,93 = 14677,19 \text{ кВА}.$$

Принимаем, что на рассматриваемой ТП в работе постоянно находятся два трансформатора. Тогда номинальная мощность трансформатора:

$$S_H = \frac{14677,19}{1,4} = 10483,7 \text{ кВА}.$$

Выбираем для ТП В трансформатор типа ТДТН–16 000/110У1.

Выпрямительная мощность левого и правого плеча питания:

$$P'_{\text{выпр}} = \frac{1,08 \cdot 1,02 \cdot 1,07}{24} \cdot (654,1 + 387,925) \cdot 180 = 9190,66 \text{ кВт};$$

$$P''_{\text{выпр}} = \frac{1,08 \cdot 1,02 \cdot 1,07}{24} \cdot (278,535 + 341,47) \cdot 180 = 5468,44 \text{ кВт.}$$

Тогда

$$P_{\text{выпр}} = 9190,66 + 5468,44 = 14659,1 \text{ кВт.}$$

Для работы на подстанции выбираем 12-пульсовый выпрямитель типа В–МПЕД–3,15–3,3к. Тогда необходимое число выпрямителей:

$$N_{\text{выпр}} = \frac{P_{\text{выпр}}}{I_{\text{ном}} U}, \quad (1.15)$$

$$N_{\text{выпр}} = \frac{14659,1}{3150 \cdot 3,3} = 1,41 \approx 2 \text{ шт.}$$

В качестве преобразовательного выбираем трансформатор типа ТРСЗП–12500/10 ЖУ1.

Результаты расчета мощности приведены в таблице 1.6 и 1.7

Таблица 1.6 – Результаты расчета мощности для 1 варианта расположения подстанций

ТП	Потребляемая мощность		Среднесуточная мощность плеча		k_M	$k_{\text{Э}}$
	Трансформаторная (кВА)	Выпрямительная (кВт)	Левого (кВт)	Правого (кВт)		
ТП А	7657,45	5757,45	-	2470,49	1,869	1,362
ТП Б	11612,37	10956,86	2235,68	2404,92	1,679	1,224
ТП В	14677,19	14659,1	2319,92	3744,1	1,624	1,224
ТП Г	14047,73	14119,02	3227,34	2703,4	1,609	1,209
ТП Д	12372,63	11606,32	2740,58	2224,07	1,64	1,248
ТП Е	8142,88	5306,29	2450,78	-	1,84	1,483

Таблица 1.7 – Результаты расчета мощности для 2 варианта расположения подстанций

ТП	Потребляемая мощность		Среднесуточная мощность плеча		k_M	$k_{Э}$
	Трансформаторная (кВА)	Выпрямительная (кВт)	Левого (кВт)	Правого (кВт)		
ТП А	7254,2	5348,62	-	2300,41	1,889	1,371
ТП Б	11548,98	10876,38	2089,06	2522,44	1,679	1,225
ТП В	14970,49	15135,16	2519,1	3744,1	1,613	1,217
ТП Г	13698	13652,13	3227,34	2505,8	1,619	1,212
ТП Д	12482,18	11708,9	2692,61	2311,99	1,64	1,249
ТП Е	8450,92	5670,6	2608,42	-	1,815	1,466

Сведем выбранные трансформаторы в таблицу 1.8 и 1.9

Таблица 1.8 – Параметры выбранных трансформаторов для 1 варианта расположения подстанций

Трансформатор	Тип	Мощность, МВА	ΔP_{XX} , кВт	ΔP_{K3} , кВт	i_0 , %	u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
1	2	3	4	5	6	7	8
ТП А Головной	2хТДТН-10000/110 У1	10	23	80	1,1	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,5$ $u_{CH} = 6,5$	Ун/Ун/Д -0-11
ТП А Тяговый	ТРСЗП-12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0
ТП Б Головной	2хТДТН-16000/110 У1	16	26	105	1,05	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,0$ $u_{CH} = 6,0$	Ун/Ун/Д -0-11

Окончание таблицы 1.8

1	2	3	4	5	6	7	8
ТП Б Тяговый	2хТРСЗП- 12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0
ТП В Головной	2хГДТН- 16000/110 У1	16	26	105	1,05	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,0$ $u_{CH} = 6,0$	УН/УН/Д-0- 11
ТП В Тяговый	2хТРСЗП- 12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0
ТП Г Головной	2хГДТН- 16000/110 У1	16	26	105	1,05	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,0$ $u_{CH} = 6,0$	УН/УН/Д-0- 11
ТП Г Тяговый	2хТРСЗП- 12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0
ТП Д Головной	2хГДТН- 16000/110 У1	16	26	105	1,05	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,0$ $u_{CH} = 6,0$	УН/УН/Д-0- 11
ТП Д Тяговый	2хТРСЗП- 12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0
ТП Е Головной	2хГДТН- 10000/110 У1	10	23	80	1,1	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,5$ $u_{CH} = 6,5$	УН/УН/Д-0- 11
ТП Е Тяговый	ТРСЗП- 12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0

*2х обозначает количество трансформаторов.

Таблица 1.9 – Параметры выбранных трансформаторов для 2 варианта расположения подстанций

Трансформатор	Тип	Мощность, МВА	ΔP_{XX} , кВт	ΔP_{K3} , кВт	i_0 , %	u_k , %	Схема и группа соединения обмоток
1	2	3	4	5	6	7	8
ТП А Головной	2хТДТН-10000/110 У1	10	23	80	1,1	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,5$ $u_{CH} = 6,5$	Ун/Ун/Д-0-11
ТП А Тяговый	ТРСЗП-12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0
ТП Б Головной	2хТДТН-16000/110 У1	16	26	105	1,05	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,0$ $u_{CH} = 6,0$	Ун/Ун/Д-0-11
ТП Б Тяговый	2хТРСЗП-12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0
ТП В Головной	2хТДТН-16000/110 У1	16	26	105	1,05	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,0$ $u_{CH} = 6,0$	Ун/Ун/Д-0-11
ТП В Тяговый	2хТРСЗП-12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0
ТП Г Головной	2хТДТН-16000/110 У1	16	26	105	1,05	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,0$ $u_{CH} = 6,0$	Ун/Ун/Д-0-11
ТП Г Тяговый	2хТРСЗП-12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0

Окончание таблицы 1.9

1	2	3	4	5	6	7	8
ТП Д Головной	2хТДТН- 16000/110 У1	16	26	105	1,05	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,0$ $u_{CH} = 6,0$	УН/УН/Д- 0-11
ТП Д Тяговый	2хТРСЗП- 12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0
ТП Е Головной	2хТДТН- 10000/110 У1	10	23	80	1,1	$u_{BC} = 10,5$ $u_{BH} = 17,5$ $u_{CH} = 6,5$	УН/УН/Д- 0-11
ТП Е Тяговый	ТРСЗП- 12500/10 УХЛ1	12,5	14	57	0,15	9,4	У/ДУ-11-0

*2х обозначает количество трансформаторов.

1.6 Расчет сечения проводов контактной сети

Определим экономическое сечение проводов КС для двух вариантов размещения подстанций, в нашем случае – это «узловая» схема. Для этого сначала определим потери ЭЭ в проводах КС за сутки со среднегодовыми размерами движения на 5 год эксплуатации. Произведем расчет для межподстанционной зоны «ВГ» 1 варианта расположения подстанций по формуле:

Для узловой схемы:

$$\Delta A_{\text{сут}} = \frac{rL \cdot 10^3}{12 \cdot U^2 T} \left[3,24 \cdot T \left(\frac{N_1' A_1^2}{t_{1T}} + \frac{N_2' A_2^2}{t_{2T}} \right) + \frac{3}{4} A_T^2 + \frac{(n-2)^3 - 2(2n-1)}{2n^3} \cdot (A_{T1}^2 + A_{T2}^2) \right] \cdot (k_D k_3)^2 \quad (1.16)$$

Тогда

$$n = \frac{16,8 + 17,1}{2 \cdot 8} = 2,119;$$

$$\Delta A_{\text{сут}} = \frac{rL \cdot 10^3}{12 \cdot 3000^2 \cdot 24} \left[\begin{aligned} & 3,24 \cdot 24 \cdot 60 \cdot \left(\frac{60 \cdot 1245,45^2}{15,6} + \frac{75 \cdot 700,35^2}{8,5} \right) + \frac{3}{4} \cdot \\ & \cdot (60 \cdot 1245,45 + 75 \cdot 700,35)^2 + \frac{(2,119 - 2)^3 - 2(2 \cdot 2,119 - 1)}{2 \cdot 2,119^3} \cdot \\ & \cdot (60^2 \cdot 1245,45^2 + 75^2 \cdot 700,35^2) \end{aligned} \right] \cdot \\ \cdot (1,02 \cdot 1,08)^2 = 26765,24 \cdot rL \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Годовые удельные потери ЭЭ можно определить по выражению:

$$B_0 = \frac{365 \cdot \Delta A_{\text{сут}}}{r \cdot L}, \quad (1.17)$$

Тогда

$$B_0 = \frac{365 \cdot 26765,24 \cdot r \cdot L}{r \cdot L} = 9769312,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{Ом} \cdot \text{год}}.$$

Суммарное экономическое сечение в медном эквиваленте определим по формуле:

$$F_{\text{эк}} = k_{\text{КС}} \sqrt{k_{\text{Э}} \cdot B_0}, \quad (1.18)$$

где $k_{\text{КС}}$ – коэффициент для расчета экономического сечения КС, $k_{\text{КС}} = 0,22$;

$k_{\text{Э}}$ – стоимость ЭЭ, $k_{\text{Э}} = 3 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч}$.

Узловая схема:

$$F_{\text{эк}} = \frac{0,22 \sqrt{3 \times 9769312,6}}{2} = 595,5 \text{ мм}^2.$$

Результаты расчетов сведем в таблицы 1.10 и 1.11.

Таблица 1.10 – Определение экономического сечения для 1 варианта расположения подстанций

Схема соединения КП	Годовые потери ЭЭ, кВт·ч/год·Ом	Сечение КС, мм ²
Зона АБ		
Узловая	4765706,45 (оба направления)	415,93
Зона БВ		
Узловая	5948324,7 (оба направления)	464,68
Зона ВГ		
Узловая	9769312,6 (оба направления)	595,5
Зона ГД		
Узловая	7056597,56 (оба направления)	506,117
Зона ДЕ		
Узловая	5515357,32 (оба направления)	447,445

По рассчитанному экономическому сечению выбираем контактные подвески.

Зона «АБ»:

– узловая схема – М120+2МФ100+М120 (440 мм²);

Зона «БВ»:

– узловая схема – М120+2МФ120+М120 (480 мм²);

Зона «ВГ»:

– узловая схема – М120+2МФ120+2М120 (600 мм²);

Зона «ГД»:

– узловая схема – М95+2МФ100+2М120 (535 мм²);

Зона «ДЕ»:

– узловая схема – М95+2МФ120+М120 (455 мм²).

Таблица 1.11 – Определение экономического сечения для 2 варианта расположения подстанций

Схема соединения КП	Годовые потери ЭЭ, кВт·ч/год·Ом	Сечение КС, мм ²
1	2	3
Зона АБ		
Узловая	4264574,59 (оба направления)	393,451

Окончание таблицы 1.11

1	2	3
Зона БВ		
Узловая	6490341,67 (оба направления)	485,386
Зона ВГ		
Узловая	9769312,6 (оба направления)	595,5
Зона ГД		
Узловая	6582206,695 (оба направления)	488,809
Зона ДЕ		
Узловая	5977956,86 (оба направления)	465,832

По рассчитанному экономическому сечению выбираем контактные подвески.

Зона «АБ»:

– узловая схема – М95+2МФ100+М120 (415 мм²);

Зона «БВ»:

– узловая схема – М95+2МФ100+2М120 (535 мм²);

Зона «ВГ»:

– узловая схема – М120+2МФ120+2М120 (600 мм²);

Зона «ГД»:

– узловая схема – М95+2МФ100+2М120 (535 мм²);

Зона «ДЕ»:

– узловая схема – М120+2МФ120+М120 (480 мм²).

1.7 Проверка проводов выбранной контактной подвески на нагревание

Проверку проводов на нагрев производим сравнением максимального эффективного рабочего тока фидера подстанции с допустимым по нагреву для данного типа подвески.

Проверка производится для отдельной схемы питания, так как в этом случае наблюдается наибольшее электропотребление.

Максимальный эффективный ток фидера ТП при отсутствии рекуперации определим по формуле:

$$I_{\text{эф}} = \frac{A' \cdot N_0 \cdot k_d}{T \cdot U} \cdot \sqrt{\frac{c_1 \cdot T}{N_0 \cdot t_T} + 1 - \frac{c_2 \cdot T}{N_0 \cdot t}}, \quad (1.19)$$

- где A' – расход ЭЭ на движение поезда, отнесенный к рассматриваемому фидеру (наибольшее значение для одного пути);
 T – расчетный период, 24 часа;
 c_1 и c_2 – коэффициенты, определяемые схемой питания КС;
 t_T – время хода поезда по фидерной зоне под током;
 t – полное время хода поезда по фидерной зоне.

Для четного направления межподстанционной зоны «БВ» наиболее загруженным фидером является фидер подстанции Б.

Тогда

$$I_{\text{эф нечет}} = \frac{1000 \cdot 309,615 \cdot 180 \cdot 1,02}{24 \cdot 3000} \cdot \sqrt{\frac{1,4 \cdot 24 \cdot 60}{180 \cdot 7,1} + 1 - \frac{1,33 \cdot 24 \cdot 60}{180 \cdot 11,1}} = 1004,27 \text{ А};$$

$$I_{\text{эф нечет}} < I_{\text{доп}};$$

1004,27 А < 2800 А – условие соблюдается.

Для нечетного направления межподстанционной зоны «БВ» наиболее загруженным фидером является фидер подстанции В. Тогда

$$I_{\text{эф чет}} = \frac{1000 \cdot 341,47 \cdot 180 \cdot 1,02}{24 \cdot 3000} \cdot \sqrt{\frac{1,4 \cdot 24 \cdot 60}{180 \cdot 8,9} + 1 - \frac{1,33 \cdot 24 \cdot 60}{180 \cdot 12,5}} = 1032,7 \text{ А};$$

$$I_{\text{эф чет}} < I_{\text{доп}};$$

1032,7 А < 2800 А – условие соблюдается.

Таким образом, проверка выполняется для самых нагруженных фидеров межподстанционной зоны и как следствие для всей фидерной зоны.

Результаты расчетов для остальных фидерных зон приведены в таблице 1.12 и 1.13.

Таблица 1.12 – Проверка проводов выбранной контактной подвески на нагревание для 1 варианта расположения подстанций

Фидерная зона	$I_{\text{эфнечет}}, \text{А}$	$I_{\text{эфчет}}, \text{А}$
АБ	747,28<2600	1105,99<2600
БВ	1004,27<2800	1032,7<2800
ВГ	1736,34<3500	1287,95<3500
ГД	1178,48<3200	1461,28<3200
ДЕ	903,09<2700	1568,22<2700

Таблица 1.13 – Проверка проводов выбранной контактной подвески на нагревание для 2 варианта расположения подстанций

Фидерная зона	$I_{\text{эфнечет}}, \text{А}$	$I_{\text{эфчет}}, \text{А}$
АБ	695,83<2500	1000,62<2500
БВ	1152,14<3200	1134,09<3200
ВГ	1736,34<3500	1287,95<3500
ГД	1040,004<3200	1348,69<3200
ДЕ	1089,91<2800	1669,84<2800

1.8 Определение действительной пропускной способности участка

1.8.1 Определение потери напряжения в тяговой сети

В нашем случае (постоянный ток, двухстороннее питание КС и узловая схема соединения контактных подвесок путей) потеря напряжения $\Delta U_{\text{ср тс}}$ определяется по формуле:

$$\Delta U_{\text{ср тс}} = \frac{r_0}{UL} \left(\frac{A_{fi}}{t_{ir}} \left[L_{oiT} (2L - 3L_{oiT}) - \frac{L_{ir}^2}{4} \right] + \frac{1}{4T} \left\{ LL_{oi} A_T + A_f \left[\frac{2L_{oi}}{L} (L - 2L_{oi})(L - 4L_i) + L_i^2 - 4 \frac{L_{oi}^2 L_i}{L} \right] \right\} \right), \quad (1.20)$$

- где r_0 – удельное сопротивление ТС обоих путей, $r_0 = 0,0211$ Ом/км;
 A_{fi} – расход ЭЭ на движение поезда по автоматической характеристике на i -м интересующем элементе (условный перегон или блок-участок) рассматриваемого пути f ;
 A_T – расход ЭЭ на движение всех поездов по обоим путям фидерной зоны за расчетный период T ;

- A_f – расход ЭЭ на движение всех поездов по рассматриваемому пути f за расчетный период T ;
- L – длина фидерной зоны;
- L_i – длина i -го условного перегона;
- L_{oi} – расстояние от ближайшей ТП до середины i -го условного перегона;
- L_{it} – длина отрезка пути, проходимого под током по автоматической характеристике на i -м интересующем элементе пути (УП или БУ);
- L_{oit} – расстояние от подстанции до середины отрезка пути, проходимого под током по автоматической характеристике на i -м интересующем элементе пути (УП или БУ);
- t_{it} – время хода под током по автоматической характеристике на i -м интересующем элементе пути (УП или БУ);
- T – расчетный период;
- U – расчетное напряжение в КС.

Согласно [1] условный «ограничивающий» перегон выбирают для заданной схемы соединения контактных подвесок между собой (узловая схема) на фидерной зоне. Для узловой схемы питания условный «ограничивающий» перегон сдвигают влево или вправо от поста секционирования в зону больших токов. Время хода поезда по условному перегону должно быть равно значению заданного минимального межпоездного интервала (8 мин). Принимаем, что условные «ограничивающие» перегоны располагаются на нечетном и четном пути. (см. приложение А и Б). Условные перегоны составляют элементы графика токов, приведенные в таблице 1.14.

Таблица 1.14 – Элементы пути для УП

Условный перегон	Средний ток, А	Время хода, мин	Длина, км
1	2	3	4
Нечетное направление, фидерная зона АБ	1430	1,0	1,2
	820	3,0	3,5
	1420	3,5	3,8
	1590	0,5	0,5
Четное направление, фидерная зона БВ	1550	0,3	0,225
	1410	3,0	3,1
	0	0,5	0,5
	1920	1,0	1,1
	1700	1,0	1,1
	0	0,8	1,0
	2010	0,5	0,5
	1710	0,5	0,6
	0	0,4	0,56

Окончание таблицы 1.14

1	2	3	4
Четное направление, фидерная зона ВГ	1680	4,0	4,08
	1430	1,0	0,9
	0	1,2	1,5
	1270	0,5	0,5
	1530	1,3	1,43
Нечетное направление, фидерная зона ГД	1630	1,0	1,06
	1800	2,5	2,4
	2050	1,0	0,7
	0	1,0	1,0
	940	1,1	1,3
	0	0,5	0,5
Нечетное направление, Фидерная зона ДЕ	1680	0,9	1,0
	1590	0,5	0,45
	710	3,0	3,1
	1620	1,0	1,0
	1780	1,5	1,3
	2000	1,0	0,9
	2080	1,0	0,7

По формулам из второй главы определим необходимые для расчета характеристики:

$$A_{\text{уп}} = 0,05 \cdot (1430 \cdot 1 + 820 \cdot 3 + 1420 \cdot 3,5 + 1590 \cdot 0,5) = 482,75 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$L_{\text{уп}} = 9 \text{ км};$$

$$L_{0\text{уп}} = 5,4 \text{ км};$$

$$t_{\text{уп}} = 8 \text{ мин};$$

$$A_{T1} = A_1 \cdot N_0 = 510 \cdot 180 = 91800 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$A_{T2} = A_2 \cdot N_0 = 736,6 \cdot 180 = 132588 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$A_T = A_{T1} + A_{T2} = 91800 + 132588 = 224388 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определим удельное сопротивление ТС:

$$r_0 = \frac{0,5}{65} + \frac{18,2}{(120 + 2 \cdot 100 + 120) \cdot 2} = 0,0284 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Тогда для условного перегона фидерной зоны АБ узловой схемы потери напряжения в ТС составят:

$$\Delta U_{\text{ср тс уп}} = \frac{0,0284}{3 \cdot 13,3} \left(\frac{482,75 \cdot 84}{8} \cdot \left[5,4(2 \cdot 13,3 - 3 \cdot 5,4) - \frac{9^2}{4} \right] + \left[13,3 \cdot 5,4 \cdot 224388 + \frac{1}{4 \cdot 24} \left(132588 \cdot \left[2 \frac{5,4}{13,3} (13,3 - 2 \cdot 5,4) \cdot (13,3 - 4 \cdot 9) + 9^2 - 4 \cdot \frac{5,4^2 \cdot 9}{13,3} \right] \right) \right] \right) = 205,16 \text{В}.$$

Результаты расчетов для остальных УП приведены в таблице 1.15.

1.8.2 Определение потери напряжения на тяговой подстанции

Среднее значение потери напряжения до поезда, обусловленное сопротивлением тяговой подстанции и внешней частью системы электроснабжения может быть найдено по формуле:

$$\Delta U_{\text{ТП}} = \rho I_{\text{ТП}}, \quad (1.21)$$

где ρ – условное эквивалентное сопротивление тяговой подстанции;
 $I_{\text{ТП}}$ – средний ток тяговой подстанции на стороне 3,3 кВ за время хода поезда по автоматической характеристике по интересующему элементу пути.

Таблица 1.15 – Потери напряжения в тяговой сети.

Условный перегон	$A_{уп}$, кВт · ч	L , км	$L_{уп}$, км	$L_{упТ}$, км	$L_{0уп}$, км	$L_{0упТ}$, км	$t_{уп}$, мин	$t_{упТ}$, мин	$A_{Т1}$, кВт · ч	$A_{Т2}$, кВт · ч	$A_{Т}$, кВт · ч	r_0 , $\frac{Ом}{км}$	$\Delta U_{ср\ тс\ уп}$, В
Нечетное направление, фидерная зона АБ	482,75	13,3	9	9	5,4	5,4	8	8	91800	132588	224388	0,0284	205,16
Четное направление, фидерная зона БВ	508,75	11,8	8,685	6,625	5,3175	4,2875	8	6,3	105867	122184	228051	0,0266	227,64
Четное направление, фидерная зона ВГ	538,7	17,9	8,41	6,91	6,075	5,325	8	6,8	224181	126063	350244	0,0229	323,69
Нечетное направление, фидерная зона ГД	536,3	14	7,96	6,46	4,92	4,17	8	6,5	102159	156591	258750	0,0247	288,9
Нечетное направление, фидерная зона ДЕ	564,75	14,2	7,45	7,45	6,025	6,025	8	8	36711	175158	211869	0,0277	250,97

Удельное сопротивление может быть определено по формуле:

$$\rho = \frac{U_0}{I_n} A \left[\left(\frac{S_{HT}}{S_{K3}} + \frac{U_{KT} S_{HT}}{100 \cdot S_{HT} n_T} \right) \left(1 + \frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) + \frac{U_{KT}}{100 \cdot n_T} \right], \quad (1.22)$$

- где
- U_0 – напряжение холостого хода на шинах постоянного тока;
 - A – коэффициент относительного наклона внешней характеристики тяговой подстанции;
 - I_n – номинальный ток полупроводникового преобразователя;
 - S_{HT} – номинальная мощность тягового трансформатора;
 - S_{HT} – номинальная мощность головного трансформатора;
 - U_{KT} – напряжение короткого замыкания головного трансформатора;
 - U_{KT} – напряжение короткого замыкания тягового трансформатора;
 - n_T – количество головных трансформаторов, находящихся в работе;
 - n_T – количество тяговых трансформаторов, находящихся в работе;
 - α – относительная доля районной нагрузки в суммарной нагрузке подстанции.

Относительная доля районной нагрузки может быть определена по формуле:

$$\alpha = \frac{S_p}{\left(\frac{P_{\text{ВЫП}}}{\cos\varphi} + S_p \right)}, \quad (1.23)$$

$$S_p = 27\% S_T,$$

где S_p – мощность районной нагрузки.

$$\alpha = \frac{2654,59}{\left(\frac{10956,865}{0,97} + 2654,59 \right)} = 0,19.$$

Тогда

$$\rho = \frac{3530}{3150} \cdot 0,26 \left[\left(\frac{12,5}{1610} + \frac{10,5 \cdot 12,5}{100 \cdot 16 \cdot 2} \right) \left(1 + \frac{0,19}{1-0,19} \right) + \frac{9,4}{100 \cdot 2} \right] = 0,03 \text{ Ом.}$$

Средний ток тяговой подстанции может быть определен по формуле:

$$I_{\text{тп}} = \frac{A'_{\text{п}} - A'_{\text{ти}}}{UT} + \frac{A'_i}{Ut_{\text{it}}}, \quad (1.24)$$

- где $A'_{\text{п}}$ – расход ЭЭ на движение всех поездов по подстанционной зоне за расчетный период T , отнесенный к рассматриваемой подстанции;
- A'_i – расход ЭЭ на движение поезда по i -му интересующему элементу пути (УП или БУ), отнесенный к рассматриваемой подстанции;
- $A'_{\text{ти}}$ – тоже для условного перегона для расчетного периода;
- t_{it} – время хода под током по автоматической характеристике на i -м интересующем элементе пути (УП или БУ).

Определим расход электроэнергии, отнесенный к правой подстанции на условном перегоне фидерной зоны АБ:

$$A'_{\text{уп}} = \left(\begin{aligned} &1430 \cdot 1 \cdot \frac{13,3 - 9,3}{13,3} + 820 \cdot 3 \cdot \frac{13,3 - 6,95}{13,3} + \\ &+ 1420 \cdot 3,5 \cdot \frac{13,3 - 3,3}{13,3} + 1590 \cdot 0,5 \cdot \frac{13,3 - 1,15}{13,3} \end{aligned} \right) = 303,38 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Тогда

$$I_{\text{тп уп}} = \left(\frac{180(257,74 + 337,59 + 309,615 + 337,33 - 303,38)}{3 \cdot 24} + \frac{303,38 \cdot 60}{3 \cdot 8} \right) \cdot (1,02 \cdot 1,08) = 3421,2 \text{ А;}$$

$$\Delta U_{\text{тп уп}} = 0,03 \cdot 3421,2 = 102,636 \text{ В.}$$

Результаты расчетов для остальных условных перегонов приведены в таблице 1.16.

Таблица 1.16 – Потери напряжения на ТП

Условный перегон	α	ρ , Ом	$A'_{уп}$, кВт · ч	$I_{ТП уп}$, А	$\Delta U_{ТП уп}$, В
Нечетное направление, фидерная зона АБ	0,19	0,03	303,38	3421,2	102,636
Четное направление, фидерная зона БВ	0,19	0,03	300,32	3644,41	109,332
Четное направление, фидерная зона ВГ	0,18	0,03	330,64	4569,28	137,08
Нечетное направление, фидерная зона ГД	0,18	0,03	371,25	4644,52	139,34
Нечетное направление, фидерная зона ДЕ	0,253	0,05	366,09	1657,3	82,87

1.8.3 Расчет действительной пропускной способности

Оценим средний уровень напряжения на токоприемнике электровозов за время хода их по условному «ограничивающему» перегону.

Действительная пропускная способность двухпутного участка с учетом фактического напряжения на токоприемнике электровоза равна:

$$N_{од} = \frac{(1440 - t_{техн}) \cdot \alpha_n}{\theta_{минд}}, \quad (1.25)$$

- где
- $t_{техн}$ – продолжительность технологического «окна», $t_{техн} = 120$ мин;
 - α_n – коэффициент надежности работы технических средств, $\alpha_n = 0,94$;
 - $\theta_{минд}$ – действительное значение минимального межпоездного интервала при движении по условному лимитирующему перегону.

Значение θ_{mind} может быть найдено по формуле:

$$t_{\text{д}} = (t - t_{\text{T}}) + t_{\text{T}} \cdot \frac{U_{\text{p}}}{U_{\text{cp}}}, \quad (1.26)$$

где $t_{\text{д}}$ – время хода по рассматриваемому отрезку пути при действительном напряжении на токоприемнике электровоза;
 t – то же при расчетном напряжении;
 t_{T} – время хода по рассматриваемому отрезку пути под током, исключая время пуска;
 U_{p} – расчетное значение напряжения на токоприемнике электровозов, равное 3 кВ;
 U_{cp} – действительное среднее напряжение на токоприемнике электровоза за время t_{T} .

При системе постоянного тока U_{cp} для условного «ограничивающего» перегона и блок - участка определяется по выражению:

$$U_{\text{cp уп}} = U_0 - \Delta U_{\text{cp тс}} - \Delta U_{\text{cp тп}}, \quad (1.27)$$

где U_0 – напряжение холостого хода подстанции, на шинах постоянного тока 3610 кВ;
 $\Delta U_{\text{cp тс}}$ – среднее значение потери напряжения на токоприемнике электровозов, обусловленное сопротивлением ТС;
 $\Delta U_{\text{cp тп}}$ – среднее значение на токоприемнике электровозов, обусловленное сопротивлением ТП и внешней частью системы электроснабжения и ее общей нагрузкой.

Находим действительное среднее напряжение на токоприемнике электровоза для условного перегона фидерной зоны АБ:

$$U_{\text{cp уп}} = 3530 - 205,16 - 102,636 = 3222,2 \text{ В.}$$

При проектировании и эксплуатации средний уровень напряжения на токоприемнике электровозов оценивается за время хода по условному «ограничивающему» перегону. Это значение напряжения используется для определения действительной пропускной способности участка.
Действительный межпоездной интервал:

$$\theta_{\text{минд}} = (8 - 8) + 8 \cdot \frac{3000}{3222,2} = 7,45 \text{ мин.}$$

Действительная пропускная способность:

$$N_{\text{од}} = \frac{(1440 - 120) \cdot 0,94}{7,45} = 166 \text{ пар поездов/сутки.}$$

Согласно условию обеспечения заданных размеров движения:

$$84 < 0,91 \cdot 166;$$

$$84 < 151 - \text{условие соблюдается.}$$

Таким образом, система электроснабжения обеспечивает заданные размеры движения.

Результаты расчетов действительной пропускной способности для остальных УП приведены в таблице 1.17.

Таблица 1.17 – Действительная пропускная способность

Условный перегон	$U_{\text{ср уп}}, \text{ В}$	$\theta_{\text{минд}}, \text{ мин}$	$N_{\text{од}}, \text{ пар поездов/сутки}$
Нечетное направление, фидерная зона АБ	3222,2	7,45	166
Четное направление, фидерная зона БВ	3193,03	7,62	162
Четное направление, фидерная зона ВГ	3069,23	7,85	158
Нечетное направление, фидерная зона ГД	3101,76	7,8	159
Нечетное направление, фидерная зона ДЕ	3196,16	7,5	165

1.9 Оценка уровня напряжения в тяговой сети на блок-участке лимитирующего перегона

1.9.1 Определение потери напряжения в тяговой сети на блок-участке

Блок-участки составляют элементы графика токов, приведенные в таблице 1.18.

Таблица 1.18 – Элементы пути для БУ

Блок-участок	Средний ток, А	Время хода, мин	Длина, км
Нечетное направление, фидерная зона АБ	1420	2,17	2,36
	1590	0,5	0,5
Четное направление, фидерная зона БВ	1410	2,67	2,76
Четное направление, фидерная зона ВГ	1680	2,73	2,8
Нечетное направление, фидерная зона ГД	1800	1,67	1,6
	2050	1,0	0,7
Нечетное направление, фидерная зона ДЕ	1780	0,67	0,58
	2000	1,0	0,9
	2080	1,0	0,7

По формулам из второй главы определим необходимые для расчета характеристики:

$$A_{\text{БУ}} = 0,05 \cdot (1420 \cdot 2,17 + 1590 \cdot 0,5) = 193,82 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$L_{\text{БУ}} = 2,86 \text{ км};$$

$$L_{0\text{БУ}} = 2,33 \text{ км};$$

$$t_{\text{БУ}} = 2,67 \text{ мин};$$

$$A_{T1} = A_7 \cdot N_0 = 510 \cdot 180 = 91800 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$A_{T2} = A_8 \cdot N_0 = 736,6 \cdot 180 = 132588 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$A_T = A_{T1} + A_{T2} = 91800 + 132588 = 224388 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Тогда для блок-участка параллельной схемы потери напряжения в ТС по формуле (1.20) составят:

$$\Delta U_{\text{ср тс уп}} = \frac{0,0284}{3 \cdot 13,3} \left(\frac{193,82 \cdot 84}{2,67} \cdot \left[2,33(2 \cdot 13,3 - 3 \cdot 2,33) - \frac{2,86^2}{4} \right] + \left[13,3 \cdot 2,33 \cdot 224388 + \frac{1}{4 \cdot 24} \cdot \left[132588 \cdot \left[2 \frac{2,33}{13,3} (13,3 - 2 \cdot 2,33) \cdot (13,3 - 4 \cdot 2,86) + 2,86^2 - 4 \cdot \frac{2,33^2 \cdot 2,86}{13,3} \right] \right] \right) = 249,43 \text{ В.}$$

1.9.2 Определение потери напряжения на тяговой подстанции

Определим расход электроэнергии на блок-участке, отнесенный к правой подстанции:

$$A'_{\text{БВ}} = 0,05 \left(1420 \cdot 2,17 \cdot \frac{13,3 - 2,58}{13,3} + 1590 \cdot 0,5 \cdot \frac{13,3 - 1,15}{13,3} \right) = 160,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Тогда средний ток ТП по формуле (1.24) при прохождении поезда по блок – участку будет равен:

$$I_{\text{ТПБУ}} = \left(\frac{180(257,74 + 337,59 + 309,615 + 337,33 - 160,5)}{3 \cdot 24} + \frac{160,5 \cdot 60}{3 \cdot \frac{8}{3}} \right) (1,02 \cdot 1,08) = 4303,6 \text{ А.}$$

Среднее значение напряжения до поезда при прохождении им блок-участка составит:

$$\Delta U_{\text{ТПБУ}} = 0,03 \cdot 4303,6 = 129,1 \text{ В.}$$

1.9.3 Оценка уровня напряжения на блок – участке

Оценим средний уровень напряжения на токоприемнике электровазозов за время хода их по наиболее тяжелому блок – участку с точки зрения уровня напряжения.

По действительному среднему значению напряжения на токоприемнике электровоза за время его хода по блок – участку производится проверка требованиям ПТЭ. Напряжение должно быть не меньше минимально допустимого, равного 2,7 кВ.

Найдем действительное среднее напряжение на токоприемнике электровоза за время его хода по блок – участку фидерной зоны АБ:

$$U_{\text{ср БУ}} = 3530 - 249,43 - 129,1 = 3151,47 \text{ В.}$$

Таким образом, система электроснабжения обеспечивает выполнение требований ПТЭ по минимальному уровню напряжения на токоприемнике.

Результаты расчетов приведены в таблице 1.19.

1.10 Расчет токовой защиты в тяговой сети

Расчет токовой защиты сводится к определению максимального рабочего тока $I_{p \min}$ и минимального тока короткого замыкания $I_{k \min}$ для рассматриваемого фидера и выбору тока уставки I_y . Расчет $I_{p \max}$ и $I_{k \min}$ выполним для узловой работы путей двухпутного участка и проверим соблюдение условия, обеспечивающего надежную защиту от токов короткого замыкания всей фидерной зоны.

Расчет защиты ведется для всех фидеров узловой схемы питания.

Условие, обеспечивающее надежную защиту:

$$I_{k \min} \geq I_{p \max} + 300, \quad (1.28)$$

1.10.1 Определение минимального тока короткого замыкания для узловой схемы соединения контактных подвесок

Минимальный ток короткого замыкания в тяговой сети при системе постоянного тока может быть определен по формуле:

$$I_{k \min} = \frac{U_n \left(1 - \frac{p}{100} \right) - U_d}{\rho + (r_k + r_p) L_k}, \quad (1.29)$$

где U_n – номинальное напряжение на ТП (принимается равным 3300 В);
 L_k – расстояние от ТП до расчетной точки КЗ;

- $r_k + r_p$ – сопротивление тяговой сети для фидерной зоны нечетного пути;
- ρ – сопротивление тяговой подстанции;
- p – колебание напряжения, равное 5%;
- U_d – потеря напряжения в дуге в месте короткого замыкания, 300 В.

Тогда для фидерной зоны АБ:

$$r_k = \frac{18,2}{(120 + 2 \cdot 100 + 120)} = 0,0414 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$$

$$r_p = \frac{0,5}{65} = 0,0077 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$$

$$\alpha = \frac{2654,59}{\left(\frac{10956,865}{0,97} + 2654,59 \right)} = 0,19;$$

$$\rho = \frac{3530}{3150} \cdot 0,26 \left[\left(\frac{12,5}{1610} + \frac{10,5 \cdot 12,5}{100 \cdot 16 \cdot 2} \right) \left(1 + \frac{0,19}{1 - 0,19} \right) + \frac{9,4}{100 \cdot 2} \right] = 0,03 \text{ Ом};$$

$$I_{k \min} = \frac{3300 \left(1 - \frac{5}{100} \right) - 300}{0,03 + (0,0414 + 0,0077) \cdot 13,3} = 4169,12 \text{ А.}$$

Примем, что на фидерной зоне располагается пост секционирования, тогда длина L_k сокращается в 2 раза. Минимальный ток короткого замыкания с учетом вышесказанного составит:

$$I_{k \min \text{уз}} = \frac{3300 \left(1 - \frac{5}{100} \right) - 300}{0,03 + (0,0414 + 0,0077) \cdot \frac{13,3}{2}} = 7875 \text{ А.}$$

Результаты расчета для остальных фидерных зон приведены в таблице 1.20.

Таблица 1.19 – Действительное среднее напряжение на токоприемнике электровоза за время его хода по БУ.

Блок участок	$A_{БУ},$ кВт · ч	$L_{БУ},$ км	$L_{0БУ},$ км	$t_{БУ},$ мин	$A_{T1},$ кВт · ч	$A_{T2},$ кВт · ч	$A_T,$ кВт · ч	$\Delta U_{\text{ср тс уп}},$ В	$A'_{БУ},$ кВт · ч	$I_{\text{ТПБУ}},$ А	$\Delta U_{\text{ТПБУ}},$ В	$U_{\text{ср БУ}},$ В
Нечетное направление, фидерная зона АБ	193,82	2,86	2,33	2,67	91800	132588	224388	249,43	160,5	4303,6	129,1	3151,47
Четное направление, фидерная зона БВ	188,24	2,76	2,92	2,67	105867	122184	228051	209,65	141,65	4199,97	126	3194,35
Четное направление, фидерная зона ВГ	229,32	2,8	7,6	2,73	224181	126063	350244	434,3	131,96	5110,26	153,3	2942,4
Нечетное направление, фидерная зона ГД	252,8	2,3	3,95	2,67	102159	156591	258750	391,94	178,28	5388,8	161,67	2976,39
Нечетное направление, фидерная зона ДЕ	263,63	2,18	3,39	2,67	36711	175158	211869	416,07	202,329	2769,2	138,5	2975,43

Таблица 1.20 – Минимальный ток короткого замыкания

Фидерная зона	$r_k, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$r_p, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	α	ρ	$I_{K \min \text{УЗ}}, \text{А}$
АБ	0,0414	0,0077	0,19	0,03	7875
БВ	0,038	0,0077	0,19	0,03	9450
ВГ	0,0303	0,0077	0,18	0,03	7662,16
ГД	0,034	0,0077	0,18	0,03	8859,38
ДЕ	0,04	0,0077	0,253	0,05	7269,23

1.10.2 Определение максимального рабочего тока для узловой схемы питания контактной сети

Формула для нахождения максимального рабочего тока примет вид:

$$I_{p \max} = I_{\text{тр}} + \frac{I'_{\text{чет}}}{2} (n_{\text{чет}} - 1) + \frac{I'_{\text{нечет}}}{2} n_{\text{нечет}}, \quad (1.30)$$

тогда

$$I'_{\text{нечет}} = \frac{A_{\text{нечет}}}{t_{\text{полн}} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{399,01 \cdot 60}{13 \cdot 3} = 613,86 \text{ А};$$

$$I'_{\text{чет}} = \frac{A_{\text{чет}}}{t_{\text{полн}} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{257,74 \cdot 60}{12 \cdot 3} = 429,57 \text{ А};$$

$$I_{p \max} = 2800 + \frac{429,57}{2} \cdot (2 - 1) + \frac{613,86}{2} \cdot 2 = 3628,645 \text{ А}.$$

По формуле (1.28) проверим возможность обеспечения надежной защиты в случае нахождения по середине фидерной зоны поста секционирования:

$$7875 \geq 3628,645 + 300;$$

$$7875 \geq 3928,645 - \text{условие выполняется.}$$

Результаты расчеты для остальных фидерных зон приведены в таблице 1.21.

Таблица 1.21 – Максимальный рабочий ток для узловой схемы питания контактной сети

Фидерная зона	$I'_{\text{нечет}}, \text{А}$	$I'_{\text{чет}}, \text{А}$	$I_{\text{p max}}, \text{А}$
АБ	613,86	429,57	3628,645
БВ	546,352	557,86	3625,282
ВГ	453,71	778,69	3643,055
ГД	696,93	599,73	3796,795
ДЕ	746,43	268,76	3680,81

1.10.3 Выбор тока уставки защиты

Выберем величину уставки для всех фидерных зон. При системе постоянного тока уставка определяется по выражению:

$$1,1 \cdot I_{\text{p max}} \leq I_y \leq I_{\text{к min}} - 250, \quad (1.31)$$

Для фидерной зоны АБ:

$$1,1 \cdot 3628,645 \leq I_y \leq 7875 - 250;$$

$$3991,5 \leq I_y \leq 7625.$$

Принимаем величину уставки равной 5500 А.

Для фидерной зоны БВ:

$$1,1 \cdot 3625,282 \leq I_y \leq 9450 - 250;$$

$$3987,8 \leq I_y \leq 9200.$$

Принимаем величину уставки равной 6500 А.

Для фидерной зоны ВГ:

$$1,1 \cdot 3643,055 \leq I_y \leq 7662,16 - 250;$$

$$4007,36 \leq I_y \leq 7412,16.$$

Принимаем величину уставки равной 5500 А.

Для фидерной зоны ГД:

$$1,1 \cdot 3796,795 \leq I_y \leq 8859,38 - 250;$$

$$4176,47 \leq I_y \leq 8609,38.$$

Принимаем величину уставки равной 6500 А.

Для фидерной зоны ДЕ:

$$1,1 \cdot 3680,81 \leq I_y \leq 7269,23 - 250;$$

$$4048,9 \leq I_y \leq 7019,23.$$

Принимаем величину уставки равной 5500 А.

2 Исследование защит опор контактной сети, изолированных от рельса

2.1 Краткая характеристика и принцип действия защиты

Защита опор контактной сети, изолированных от рельса (ЗОИР), обеспечивает отключение быстродействующих выключателей, которые питают защищаемую зону, если произошел пробой в изоляции на одной из опор. Три короткозамыкателя устанавливаются на каждой защищаемой зоне, независимо от ее длины, для того, чтобы обеспечить необходимую чувствительность и резервирование в случае отказа одного из короткозамыкателей, а также для того, чтобы исключить появление мертвых зон. Два короткозамыкателя устанавливаются по концам защищаемой зоны и один в середине.

На фидерных зонах, расстоянием 2-3 километра, при удовлетворительном состоянии изоляции опор, допускается установка двух короткозамыкателей по концам защищаемой зоны, при условии, что при пробое изоляции на любой из опор срабатывают оба короткозамыкателя.

Защищаемая зона включает в себя все опоры перегона, расположенные от станции до станции, либо до поста секционирования.

По условиям селективности в зону защиты не должны включаться:

- опоры, расположенные на станциях;
- опоры с двухпутными консолями или с несколькими контактными подвесками;
- опоры гибких и жестких поперечин.

Для обеспечения безопасности, к дополнительному проводу не должны подключаться опоры, на которых расположены привода разъединителей, разрядники, а также опоры, расположенные в общедоступных местах.

Опоры, которые входят в одну защищаемую зону, должны отсоединяться от рельса и подключаются к дополнительному проводу через искровые промежутки. В качестве дополнительных могут быть использованы провода малого сечения (БСМ – 4; БСА – 5,1; АС – 35), которые подвешиваются на опоры с использованием специальных кронштейнов.

Блоки защиты состоят из входного устройства и короткозамыкателя и устанавливают их по концам и в середине защищаемой зоны.

Короткозамыкатель подключают к дополнительному проводу через входные устройства. К контактной сети подключение выполняется через разъединитель.

Если произошел пробой изоляции на какой-либо опоре контактной сети, вследствие того, пробивается расположенный на ней искровой промежуток, а дополнительный провод в этой точке становится под потенциал сети.

Все опоры, которые отсоединены от рельсов и входят в одну секцию контактной сети, должны подключаться к дополнительному проводу через искровые промежутки, рис. 2.1. В качестве дополнительного провода,

используются провода малого сечения (стальной ПС-26 или биметаллический БСМ-4 или БСА-5,1) [4]. По концам защищаемой секции устанавливаются дуговые короткозамыкатели. Силовые контакты дуговых короткозамыкателей подключаются к контактной сети и средней точке путевого дроссель-трансформатора (см. рис. 2.1). Короткозамыкатели подключаются к дополнительному проводу через входные устройства (ВУ). Входные устройства предназначены для того, чтобы задавать напряжение срабатывания короткозамыкателей. Если произошел пробой изолятора на опоре, в этом случае, установленный на ней искровой промежуток (его пробивное напряжение составляет 1000-1200 В) и дополнительный провод в точке пробоя становятся под полное напряжение контактной сети (см. рис. 2.1). Из-за потенциала в дополнительном проводе происходит пробой искровых промежутков на других опорах, однако напряжение на концах провода будет, как показали исследования, не меньше уровня напряжения срабатывания входного устройства (750–800 В). Напряжение в дополнительном проводе, через входное устройство, подается на запальное устройство дугового короткозамыкателя. Запальное устройство создает дугу между его силовыми контактами. Ток запального устройства составляет 4–6 А [4]. В результате срабатывают оба короткозамыкателя, в результате чего создается замыкание контактной сети на рельсы и протекание тока искусственного короткого замыкания I_k (см. рис. 2.1). Предельный сквозной ток короткозамыкателя равен 8 кА [4]. Быстродействующие выключатели отключают ток короткого замыкания на фидерах тяговых подстанций, поста секционирования и на пунктах параллельного соединения. Затем изоляция искровых промежутков на опорах восстанавливается, так как через них протекают сравнительно малые токи. Величина этих токов определяется собственным сопротивлением опор, а ток подпитки от электровозов в генераторном режиме, если они в момент короткого замыкания находились на зоне питания, незначителен из-за большого сопротивления опор и дополнительного провода. Диодно-тиристорная цепь входного устройства препятствует протеканию тяговых и сигнальных токов рельсов в дополнительный провод [4]. Существуют предложения по установке трех дуговых короткозамыкателей на одну секцию контактной сети для надежности. В то же время следует заметить, что при наличии поста секционирования на межподстанционной зоне и 100 % надежности работы дугового короткозамыкателя и входного устройства можно было бы на абсолютном большинстве секций ограничиться установкой только одного короткозамыкателя. К достоинствам защиты ЗОИР относятся исключение электрокоррозии арматуры и фундаментов опор контактной сети, вызванной тяговыми токами рельсовых цепей или перетекающими токами в тросах группового заземления, возможность использования дополнительного провода малого сечения большой длины. В целом защита проста в исполнении, достаточно надежна. Недостатками являются необходимость дополнительного провода, периодической проверки короткозамыкателей и искровых промежутков, целости дополнительного провода.

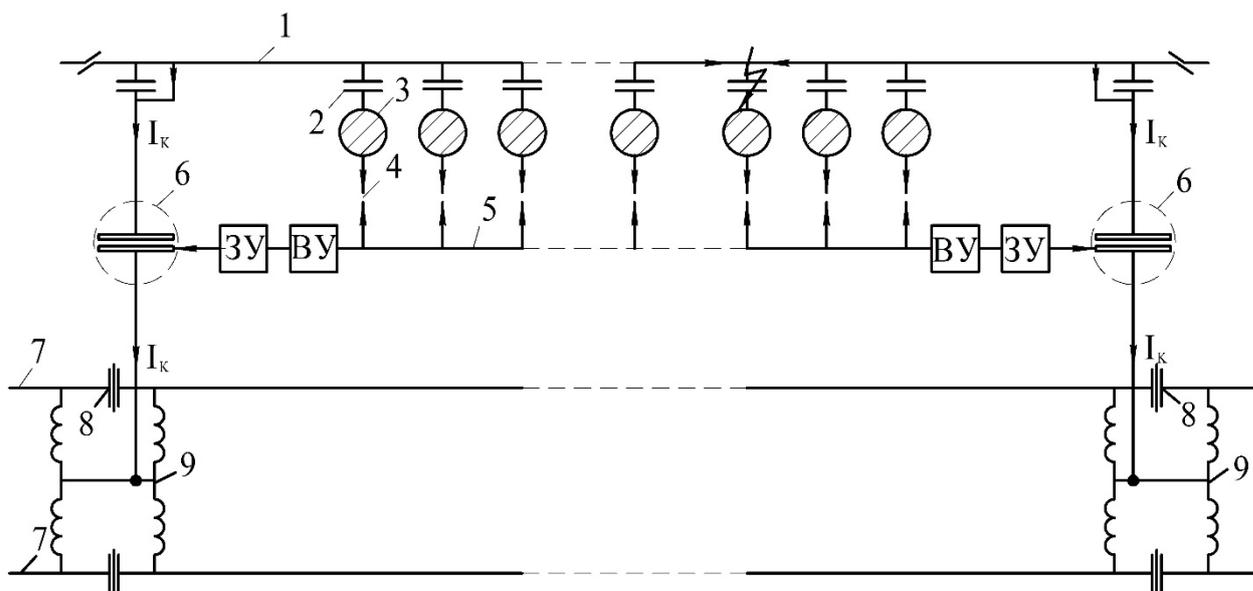


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема ЗОИР

1 – контактная подвеска; 2 – изолятор; 3 – опора КС; 4 – искровой промежуток; 5 – дополнительный провод; 6 – короткозамыкатель; 7 – рельс; 8 – изолированный рельсовый стык; 9 – дроссель-трансформатор; ВУ – входное устройство; ЗУ – запальное устройство.

2.2 Основные параметры защиты

Таблица 2.1 – Параметры входного устройства

$U_{\text{ср}}, \text{В}$	750 – 900
$R, \text{Ом}$	150 ± 10
$P, \text{ВА}$	300
U пробоя обратной полярности, В	2400 ± 240

Таблица 2.2 – Параметры короткозамыкателя

$U_{\text{н}}, \text{кВ}$	3,3
1	2
$I_{\text{ср}}$ запального устройства, А	4,0 – 6,0
Предельный сквозной ток короткозамыкателя, кА	8
Время протекания предельного тока, с	0,2

Окончание таблицы 2.2

1	2
Время срабатывания короткозамыкателя, с	не более 0,12
Расстояние между верхним и нижним электродом, мм	15 ± 1
Отклонение от соосности электродов, мм	2
Пробивное напряжение искровых промежутков, В	1000 - 1200

Таблица 2.3 – Габаритные размеры

Блок защиты, мм	не более 1082×846×370
Входное устройство, мм	381×572×370
Короткозамыкатель, мм	307×704×307
Кронштейн, мм	850×147×65

Таблица 2.4 – Масса

Блок защиты, кг	не более 31,3
Входное устройство, кг	не более 14,3
Короткозамыкатель, кг	не более 13,1

2.3 Входное устройство

К элементам входного устройства относятся: токоограничивающие резисторы ($R1 - R8$), тиристор ($VS1$), диод ($VD1$), варисторы ($RU1 - RU3$) размещены на панели (рис. 2.2).

Выходные клеммы входного устройства подсоединяются к выводам катушек короткозамыкателя, с помощью высоковольтного провода, закрепленного на раме.

Токоограничивающие резисторы $R1 - R8$ служат для ограничения тока, который протекает через катушки электромагнитов, до величины срабатывания запального устройства короткозамыкателя ($4 \div 6$) А.

В цепь каждой катушки включается четыре параллельно – последовательно соединенных резисторов типа С5 – 35В – 75 – 150 Ом ± 5%, общее сопротивление которых 150 Ом.

Диодно – тиристорная цепь ($VD1, VS1, RU1$) устанавливает величину срабатывания защиты (варистор $RU1$) и препятствует протеканию тяговых и сигнальных токов с рельса в дополнительный провод, а также предупреждает протекание токов по дополнительному проводу при нарушении изоляции искрового промежутка на одной из опор.

Варисторы $RU1, RU2$ защищают диодно – тиристорную цепь от пробоя обратной полярности.

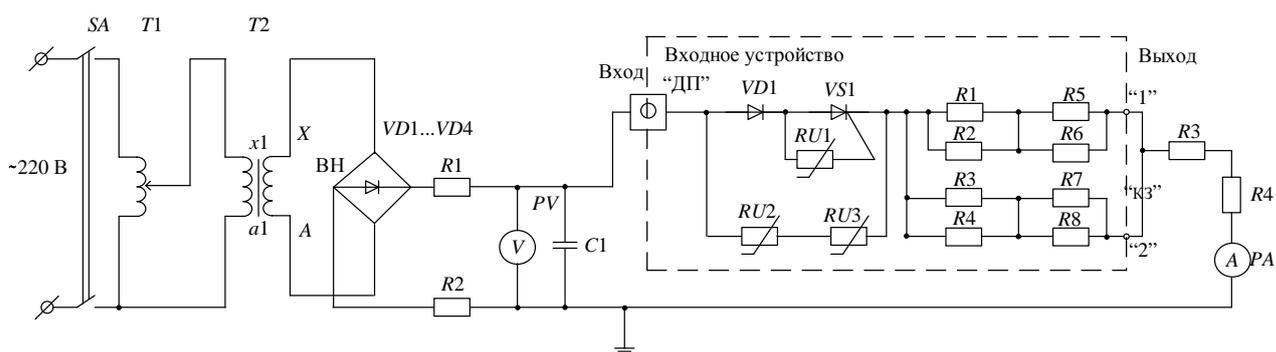


Рисунок 2.2 – Электрическая принципиальная схема входного устройства

2.4 Монтаж защиты

Перед установкой блоков защит на опоры, проверяют ток срабатывания запального устройства, сопротивление и напряжение срабатывания в цепи катушек входного устройства и электрическую прочность изоляции.

Для того, чтобы проверить ток срабатывания запального устройства короткозамыкателя, необходимо отсоединить провода от внешних клемм К1 и К2, собрать схему регулируемого источника питания постоянного тока с величиной 10 А, затем измерить ток срабатывания $I_{сраб.изм.}$ каждой катушки, поочередно подавая напряжение на выводы катушек (клеммы К1 (К2) и клеммы К1' (К2') соответственно). Зафиксировать $I_{сраб.изм.}$ по амперметру.

Измерение сопротивления резисторов в цепи катушек запального устройства.

Для того, чтобы измерить сопротивление резисторов в цепи катушек запального устройства, необходимо открыть крышку входного устройства и, соответствующим прибором (тестером, мультиметром), в цепи каждой катушки $R1, R2, R5, R6$ ($R3, R4, R7, R8$) произвести измерения $R_{К1(К2)}$. После измерений нужно установить крышку входного устройства.

Для проверки напряжения срабатывания входного устройства нужно собрать схему, соединение элементов которой, с обмоткой ВН трансформатора Т2 и элементов, находящихся под высоким напряжением, со входом входного

устройства ДП, должно производиться проводом на $U \geq 4\text{кВ}$ (типа ПВВ, ПВРВ, ПС, ПСЖ).

Перед тем как выполнить проверку, тумблер SA должен быть разомкнут, а конденсатор $C1$ (высоковольтный) разряжен и закорочен.

При испытании входного устройства следует соблюдать требования «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Зажимы заземления всех устройств должны быть соединены с землей.

Часть стенда, находящаяся под высоким напряжением, и входное устройство должны быть расположены в высоковольтной камере, оснащенной блокировкой, исключающей возможность входа внутрь камеры при наличии высокого напряжения.

Включить тумблер SA и изменяя положение движка автотрансформатора $T1$ установить на конденсатор $C1$ напряжение $U_{\text{вх}} = 700\text{ В}$.

Наблюдать за показаниями амперметра, которые должны быть около 0.

Медленно вращая движок трансформатора $T1$ плавно повышать напряжение до 900 В.

Схема входного устройства (диод $VD1$, варистор $RU1$, тиристор $VS1$) должна открыться при входном напряжении $(820 \pm 82)\text{ В}$. При этом амперметр должен показывать ток от 370 до 450 мА. По вольтметру PV зафиксировать величину напряжения $U_{\text{вх}}$, при котором открывается схема входного устройства.

Установить движок автотрансформатора $T1$ в нулевое положение. Выключить тумблер SA .

После окончания каждой поверки необходимо разрядить высоковольтный конденсатор согласно существующим правилам и установить закоротку между его выводами.

Повторить измерения три раза, каждый раз фиксировать величину $U_{\text{вх}}$ вычислить среднюю величину $U_{\text{вх}}$ трех измерений.

Если ток срабатывания $I_{\text{сраб.изм.}} \leq [U_{\text{вх}} / R_{\text{к}}] \times 0,8$, то блок защиты годен для эксплуатации.

В приведенной формуле:

- $I_{\text{сраб.изм.}}$ – ток в цепи катушек запального устройства;
- $R_{\text{к}}$ – фактическое сопротивление в цепи катушек запального устройства;
- $U_{\text{вх}}$ – фактическое напряжение срабатывания входного устройства.

Если ток $I_{\text{сраб.изм.}}$ больше вычислительного, то его необходимо уменьшить. Для этого следует снять верхний электрод, снять кожух нижнего электрода и подрегулировать пружину соответствующего подвижного контакта.

Проверка электрической прочности изоляции.

Для проверки необходима пробивная установка с напряжением не менее 50 кВ, оно подается на каждое присоединение, а все другие присоединения должны быть соединены между собой и с корпусом. Испытательное напряжение выдерживать 1 минуту. Изделие считается выдержавшим испытания, если не происходит пробоя изоляции.

Для проведения испытаний необходимо:

- снять соединение между выходными клеммами короткозамыкателя К1, К2 и выходами входного устройства «1, 2 к.з.»;
- соединить входные клеммы короткозамыкателя К1, К2 между собой и с корпусом;
- подключить пробивную установку к клемме верхнего электрода и к одному из нижних электродов и провести измерение.

Для проведения испытаний:

- отсоединить выходы «1, 2 к.з.» входного устройства от короткозамыкателя;
- соединить между собой вход ДП и выводы «1, 2 к.з.» входного устройства;
- отключить пробойную установку к соединениям вход ДП, «1, 2 к.з.» и к корпусу;
- провести измерение.

На всех опорах, входящих в защищаемую зону, должны быть установлены кронштейны с изоляторами и искровыми промежутками на высоте не менее 5м от уровня земли.

Кронштейны должны быть изолированы от опор и соединены с арматурой опоры с помощью плашечных зажимов заземляющего провода типа 066 – 1.

Заземляющий спуск арматуры опоры ниже 0,5 м от кронштейна обрезают и загибают крючком для завески на него заземляющей штанги при производстве работ на опоре.

Демонтируют оставшуюся часть заземляющего спуска до тягового рельса или троса группового заземления.

Раскатывают по низу дополнительный провод и крепят его на изоляторах кронштейнов.

Блоки защиты устанавливают на отдельных опорах на высоте не менее 0,7 м от уровня земли в начале, конце и середине защищаемой зоны.

Конструкция, на которой располагается блок защиты, должна быть изолирована от опоры.

Рабочее заземление короткозамыкателя выполняют двумя изолированными от опоры стальными пружинами на тяговый рельс не ближе 200 м от сигнальной точки.

В месте присоединения к рельсу должен быть установлен знак – указатель «Опасно! Высокое напряжение!»

Остальные металлоконструкции на опоре с блоком защиты должны быть подключены через искровой промежуток к дополнительному проводу.

Для защиты от коммутационных перенапряжений в месте подключения короткозамыкателя (на расстоянии одного пролета от него) к защищаемой секции КС должен быть подключен роговый разрядник или ограничитель перенапряжений.

Порядок подключения защиты:

- на дополнительный провод с двух сторон от места работы и на заземляющий спуск опоры КС завешивают заземляющие штанги;
- входное устройство подключают к дополнительному проводу проводом той же марки;
- искровые промежутки соединяют с дополнительным проводом той же марки, что и дополнительный провод;
- подключают разъединитель к контактной подвеске и к выводу 3,3 кВ короткозамыкателя при снятом напряжении с КС.

2.5 Проверка работы защиты

После окончания монтажных работ проводится обязательная проверка работы защиты.

Проверка проводится путем имитации пробоя изоляции на одной из опор защищаемой зоны. Проверку желательно проводить при наиболее неблагоприятных климатических условиях.

Проверяется чувствительность защиты путем создания искусственного короткого замыкания на одну из опор в начале (конце) защищаемой зоны при отключенном соответственно короткозамыкателе в начале (конце) защищаемой зоны.

Имитация пробоя осуществляется изолирующей штангой оборудованной усиком из проволоки диаметром 2 – 3 мм для касания частей контактной сети, находящихся под напряжением и шлейфом длиной 3 – 3,5 м из изолированного высоковольтного провода марки ПС-10 или ПСШ-10 для подсоединения штанги к заземлению опоры. Изолирующая штанга должна быть предварительно испытана на напряжение 40 кВ в течение 5 минут.

Предварительно заземляют дополнительный провод и навешивают на него заземляющую штангу вблизи опоры. После заземления дополнительного провода шлейф изолирующей штанги болтовым зажимом крепят к спуску заземления, при этом штанга удерживается в вертикальном положении вдоль опоры.

Снимают заземляющую штангу с дополнительного провода.

По команде руководителя испытаний мантер с квалификационной группой не ниже 4 касается усиком изолирующей штанги основного стержня фиксатора на расстоянии не ближе 0,5 м от изолятора.

При этом должен сработать короткозамыкатель, установленный в середине защищаемой зоны и отключиться все быстродействующие выключатели питающие эту зону.

Повторить создание искусственного короткого замыкания в середине зоны при отключенном короткозамыкателе в середине защищаемой зоны.

При этом должны сработать оба короткозамыкателя, установленные в начале и конце защищаемой зоны.

2.6 Техника безопасности

При монтаже и эксплуатации защиты следует соблюдать:

- «Правила безопасности при эксплуатации контактной сети и устройств электроснабжения автоблокировки железных дорог» ЦЭ – 750;
- «Инструкцию по безопасности для электромантеров КС» ЦЭ – 761;

Работы по монтажу защиты в отношении мер безопасности следует отнести к следующим категориям:

- установка кранштейнов на опорах при расстоянии от токоведущих частей более 2,5 м;
- вдали от частей, находящихся под напряжением;
- раскатка дополнительного провода по низу и вязка его к изоляторам – вдали от частей находящихся под напряжением;
- подключение шлейфов разъединителя к контактной сети и короткозамыкателю – со снятием напряжения и заземлением;
- подключение дополнительного провода к входному устройству (при отключении разъединителя, короткозамыкателя, заземленном шлейфе и дополнительном проводе) вдали от частей, находящихся под напряжением.

2.7 Диодная защита

При диодной защите опоры контактной сети отсоединяют от рельсов в анодных и знакопеременных зонах, а также объединяют их тросом группового заземления (ТГЗ), который подвешивается на опоры на высоте 4-6 метров от уровня головки рельса. Для опор, которые находятся в катодной зоне, сохраняют индивидуальные заземлители. Индивидуальные заземлители присоединяют к рельсу через искровые промежутки. В средней части ТГЗ устанавливается спуск, в котором монтируют диодный заземлитель, и устанавливают его так, чтобы он исключал вход обратного тока с рельсов в трос группового заземления, а также пропускал бы токи короткого замыкания от ТГЗ к рельсам, рис. 2.3.

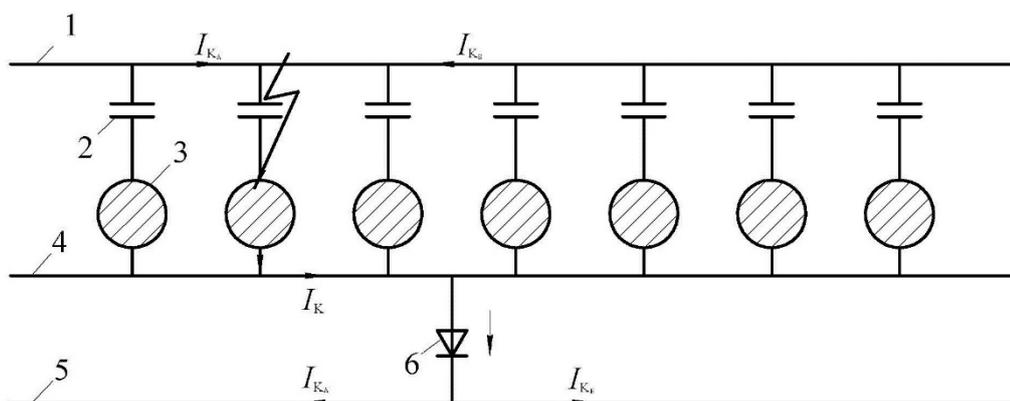


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема диодной защиты

1-контактная сеть; 2- изолятор; 3-опора; 4-тросс группового заземления; 5-рельсы; 6- диодный заземлитель.

В случае нарушения изоляции на одной из опор, ток короткого замыкания протекает от тяговых подстанций А и Б по контактной сети через пробитый или перекрытый изолятор на опоре контактной сети, по тросу группового заземления, диодному заземлителю и по рельсам возвращается на тяговые подстанции (см. рис. 9.10). В качестве ТГЗ используют провода АС-70 или ПБСМ-70, которые имеют достаточно большое удельное сопротивление (0,42 Ом/км и 0,73 Ом/км соответственно). Поэтому включение в цепь короткого замыкания троса группового заземления вызывает заметное снижение тока короткого замыкания, что может привести к несрабатыванию БВ на фидерах тяговых подстанций и постов секционирования, пунктах параллельного соединения. Чтобы это избежать, ТГЗ выполняют в виде отдельных изолированных секций определенной длины, каждая имеет свой диодный заземлитель.

Возможную длину секции ТГЗ определяют исходя из значения минимального тока короткого замыкания, который должен превышать существующие уставки БВ. Наибольшая длина секции ТГЗ при объединении металлических опор составляет 600 метров, а железобетонных – 1200 метров. Диодные заземлители размещают на расстоянии не ближе 200 метров от роговых разрядников или ограничителей перенапряжения, чтобы исключить пробой диодных заземлителей при их срабатывании, и не ближе 150 метров от путевых дроссель – трансформаторов с целью исключения повреждения рельсовых цепей при пропуске перенапряжений с ТГЗ в рельс. Технические характеристики диодного заземлителя определяются типом и числом установленных в нем полупроводниковых приборов. В свое время было предложено, чтобы диодный заземлитель выполняли на базе трех диодов ВЛ-200 10. Даже в случае выхода одного из них из работы, два оставшихся диода в состоянии пропускать импульс тока короткого замыкания до 10 кА и затем сопровождающий ток 3-4 кА в течение до 0,3 секунд, не повреждаясь.

Диодные заземлители не в полной мере удовлетворяют требованиям эксплуатации. В цепи заземлителя должен быть такой защитный элемент, который бы имел характеристику, близкую к характеристике искрового

промежутка. Диодный заземлитель такой характеристикой не обладает. Поэтому на базе управляемых диодов был предложен тиристорный заземлитель.

Диодная защита обладает положительными качествами, такими как простота конструкции заземлителя, не требуется специальной аппаратуры на тяговых подстанциях и постах секционирования, высокая надежность работы, срабатывание заземлителей при незначительном напряжении на тресе, удобство монтажа. К недостаткам защиты относятся наличие дорогостоящего ТГЗ со значительной площадью сечения и необходимость его секционирования, отсутствие контроля его целостности, необходимость проверки диодных заземлителей в условиях эксплуатации, некоторые конструктивные недоработки, связанные с размещением диодов в корпусе заземлителя и качеством изготовления отдельных элементов заземлителя, неспособность защитить от перетекающих токов между опорами. Кроме того, в эксплуатации имели место достаточно частые попытки вырезки ТГЗ из-за наличия в нем цветных металлов. Все это привело к тому, что диодная защита постепенно начала демонтироваться на действующих участках с заменой на другой вид защиты. Ради объективности следует отметить, что диодная защита в силу своих достоинств является достаточно привлекательным видом защиты от токов короткого замыкания тяговой сети [4].

3 Технико – экономическое сравнение двух вариантов размещения подстанций

При проектировании систем электроснабжения важнейшей задачей является экономическое обоснование рентабельности проекта, с точки зрения экономики важнейшей задачей является эффективность капиталовложений и обеспечение необходимого снижения стоимости этих капиталовложений.

На двухпутном участке постоянного тока протяженностью 71,2 километра из двух вариантов расположения тяговых подстанций, с одной и той же нагрузкой по фидерным зонам и при одинаковых данных, определим наиболее выгодный и экономичный вариант. Для определения этого варианта нам потребуется вычислить капиталовложения на строительство тяговых подстанций и контактной сети, а также расходы на их эксплуатацию. В данном разделе рассмотрено экономическое сравнение вариантов расположения тяговых подстанций при применении узловой схемы соединения контактной подвески с разным количеством тяговых подстанций и расстояниями между ними.

3.1 Определение капитальных затрат на сооружение двухпутного участка постоянного тока

Для определения капитальных затрат на двухпутном участке постоянного тока, необходимо знать длину участка, количество тяговых подстанций, расположенных на этом участке, а также количество фидерных зон. Для сооружения узловой схемы соединения контактных подвесок необходимо установить на каждой фидерной зоне один пост секционирования.

Таблица 3.1 - Параметры расположения вариантов тяговых подстанций

№ варианта	Длина участка, км.	Количество, шт.		Количество ТП, шт.	
		Фидерных зон	ПС	Транзитных	Опорных
1	71,2	5	5	4	2
2	71,2	5	5	4	2

Капитальные затраты на возведение двухпутного электрифицированного участка постоянного тока будут найдены путем сложения капитальных затрат на строительство тяговых подстанций и сооружение контактной подвески.

Таблица 3.2 - Капитальные затраты на сооружение контактной подвески вариант №1

Фидерная зона	Тип контактной подвески	Развернутая длина контактной подвески, км.	Стоимость одного километра контактной подвески, тыс. руб.	Затраты на сооружение контактной подвески, тыс. руб.
1-2	M120+2МФ100+M120	13,3	6954,3	92492,19
2-3	M120+2МФ120+M120	11,8	7148,7	84354,66
3-4	M120+2МФ120+2M120	17,9	7259,8	129950,42
4-5	M95+2МФ100+2M120	14	7047,4	98663,6
5-6	M95+2МФ120+M120	14,2	6989,1	99245,22
Итого:		71,2		504706,09

Таблица 3.3 - Капитальные затраты на сооружение контактной подвески вариант №2

Фидерная зона	Тип контактной подвески	Развернутая длина контактной подвески, км.	Стоимость одного километра контактной подвески, тыс. руб.	Затраты на сооружение контактной подвески, тыс. руб.
1-2	M95+2МФ100+M120	12,3	6936,3	85316,49
2-3	M95+2МФ100+2M120	12,8	7047,4	90206,72
3-4	M120+2МФ120+2M120	17,9	7259,8	129950,42
4-5	M95+2МФ100+2M120	13	7047,4	91616,2
5-6	M120+2МФ120+M120	15,2	7148,7	108660,24
Итого:		71,2		505750,07

Определим капиталовложения в тяговую сеть для каждого из вариантов расположения тяговых подстанций двухпутного участка постоянного тока, для этого нужно сложить стоимость контактного провода и стоимость ПС на данном участке. Стоимость тяговой сети определим по формуле:

$$K_{тс} = K_{кс} \cdot L + n \cdot K_{пс}, \quad (3.1)$$

где $K_{кс}$ – капитальные затраты на строительство одного километра контактной подвески;
 $K_{пс}$ – капитальные затраты на строительство поста секционирования;
 L – длина рассматриваемого участка;
 n – количество штук (ПС).

Вариант №1

$$K_{TC1} = 13,3 \cdot 6954,3 + 11,8 \cdot 7148,7 + 17,9 \cdot 7259,8 + 14 \cdot 7047,4 + 14,2 \cdot 6989,1 + 5 \cdot 20585,49 = 607633,54 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант №2

$$K_{TC2} = 12,3 \cdot 6936,3 + 12,8 \cdot 7047,4 + 17,9 \cdot 7259,8 + 13 \cdot 7047,4 + 15,2 \cdot 7148,7 + 5 \cdot 20585,49 = 608677,52 \text{ тыс. руб.}$$

Определим капитальные затраты на возведение тяговых подстанций для каждого из вариантов, согласно укрупненных цен на тяговые подстанции по формуле:

$$K_{ТП} = n \cdot K_{оп6,3} + n \cdot K_{оп10} + n \cdot K_{оп16} + n \cdot K_{тр6,3} + n \cdot K_{тр10} + n \cdot K_{тр16} + n \cdot K_{от6,3} + n \cdot K_{от10} + n \cdot K_{от16}, \quad (3.2)$$

- где
- $K_{оп6,3}$ – капитальные затраты на возведение опорной тяговой подстанции (2 · 6,3 МВА);
 - $K_{оп10}$ – капитальные затраты на возведение опорной тяговой подстанции (2 · 10 МВА);
 - $K_{оп16}$ – капитальные затраты на возведение опорной тяговой подстанции (2 · 16 МВА);
 - $K_{тр6,3}$ – капитальные затраты на возведение транзитной тяговой подстанции (2 · 6,3 МВА);
 - $K_{тр10}$ – капитальные затраты на возведение транзитной тяговой подстанции (2 · 10 МВА);
 - $K_{тр16}$ – капитальные затраты на возведение транзитной тяговой подстанции (2 · 10 МВА);
 - $K_{от6,3}$ – капитальные затраты на возведение отпаечной тяговой подстанции (2 · 6,3 МВА);
 - $K_{от10}$ – капитальные затраты на возведение отпаечной тяговой подстанции (2 · 10 МВА);
 - $K_{от16}$ – капитальные затраты на возведение отпаечной тяговой подстанции (2 · 10 МВА);
 - n – количество тяговых подстанций.

Вариант №1

$$K_{\text{ТП1}} = 2 \cdot 523458,6 + 4 \cdot 461381,11 = 1046917,2 + 1845524,44 = 2892441,64 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант №2

$$K_{\text{ТП2}} = 2 \cdot 523458,6 + 4 \cdot 461381,11 = 1046917,2 + 1845524,44 = 2892441,64 \text{ тыс. руб.}$$

Таблица 3.5 - Капитальные затраты на сооружение тяговых подстанций вариант №1

Тип подстанции	Количество подстанций	Стоимость одной подстанции, тыс. руб.	Общие затраты на возведение подстанций данного типа, тыс. руб.
опорная(2*10)	2	523458,6	1046917,2
транзит(2*16)	4	461381,11	1845524,44
Итого	6	–	2892441,64

Таблица 3.6 – Капитальные затраты на сооружение тяговых подстанций вариант №2

Тип подстанции	Количество подстанций	Стоимость одной подстанции, тыс. руб.	Общие затраты на возведение подстанций данного типа, тыс. руб.
Опорная(2*10)	2	523458,6	1046917,2
Транзит (2*10)	4	461381,11	1845524,44
Итого	6	–	2892441,64

Определим полные капитальные затраты на возведение участка постоянного тока включая стоимость тяговой сети и стоимость тяговых подстанций по формуле:

$$K = K_{\text{ТС}} + K_{\text{ТП}}, \quad (3.3)$$

Вариант №1

$$K_1 = 607633,54 + 2892441,64 = 3500075,18 \text{ тыс. руб.}$$

Вариант №2

$$K_2 = 608677,52 + 2892441,64 = 3501119,16 \text{ тыс. руб.}$$

Таблица 3.8 – Капитальные затраты на сооружение двухпутного участка постоянного тока

№ Варианта	1	2
ПС, тыс. руб.	102927,45	102927,45
Контактная подвеска, тыс. руб.	504706,09	505750,07
Тяговые подстанции, тыс. руб.	2892441,64	2892441,64
Итого: тыс. руб.	3500075,18	3501119,16

Вывод по разделу: из сделанных расчётов видно, что капитальные вложения в двухпутный участок постоянного тока наиболее экономичными будут в варианте №1 и составят 3500075,18 тыс. руб., а самым дорогостоящим проектом возведения участка, по вложенным в него затратам, будет вариант №2 и составит 3501119,16 тыс. руб.

3.2 Определение годовых эксплуатационных расходов

Для определения наиболее выгодного варианта расположения тяговых подстанций важно знать годовые эксплуатационные расходы на данных участках постоянного тока, так как построенный участок будет эксплуатироваться много лет.

Эксплуатационные расходы складываются из:

- стоимости годовых потерь электрической энергии.
- амортизационных отчислений.

Годовые эксплуатационные расходы для участка постоянного тока с узловым соединением контактной подвески, для всех трех вариантов найдем по формуле:

$$\mathcal{E} = K_{\mathcal{E}} \cdot \Delta A_{\text{год}} + a_{\text{кс}} \cdot K_{\text{кс}} + a_{\text{пс}} \cdot (n K_{\text{пс}} + n \cdot K_{\text{ппс}}) + a_{\text{тп}} \cdot K_{\text{тп}}, \quad (3.4)$$

- где $K_{\mathcal{E}}$ – стоимость 1 кВт · ч электроэнергии, принимается равным 3 руб;
- $a_{\text{кс}}$ – амортизационные отчисления на контактную сеть, принимается равным 0,046;
- $a_{\text{пс}}$ – амортизационные отчисления на посты секционирования принимаем равным 0,055;
- $a_{\text{тп}}$ – амортизационные отчисления на тяговые подстанции, принимается равным 0,04;
- $\Delta A_{\text{год}}$ – годовые потери электроэнергии.

Годовые потери электроэнергии находятся по формуле:

$$\Delta A_{\text{год}} = \Delta A_{\text{год тс}} , \quad (3.5)$$

где $\Delta A_{\text{год тс}}$ – годовые потери электроэнергии в тяговой сети (сумма потерь на каждой фидерной зоне раздел 1.9), кВт · ч;
 $\Delta A_{\text{год тп}}$ – годовые потери на подстанции (сумма потерь на всех тяговых подстанциях в головных трансформаторах раздел 1.10), кВт · ч.

Определим годовые потери электроэнергии в тяговой сети.

Вариант №1

$$\begin{aligned} \Delta A_{\text{год тс1}} &= 4765706,45 + 5948324,7 + 9769312,6 + 7056597,56 + 5515357,32 = \\ &= 33055298,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Вариант №2

$$\begin{aligned} \Delta A_{\text{год тс2}} &= 4264574,59 + 6490341,67 + 9769312,6 + 6582206,695 + 5977956,86 = \\ &= 33084392,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \end{aligned}$$

Определим годовые потери электроэнергии.

Вариант №1

$$\Delta A_{\text{год1}} = \Delta A_{\text{год тс1}} = 33055298,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Вариант №2

$$\Delta A_{\text{год2}} = \Delta A_{\text{год тс2}} = 33084392,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Определим годовые эксплуатационные расходы по формуле (3.4).

Вариант №1

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= 33055298,6 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 0,046 \cdot 504706,09 + 0,055 \cdot 5 \cdot 20585,49 + 0,04 \cdot \\ &\cdot 2892441,64 = 243741,051 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Вариант №2

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_2 &= 33084392,4 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 0,046 \cdot 505750,07 + 0,055 \cdot 5 \cdot 20585,49 + 0,04 \cdot \\ &\cdot 2892441,64 = 243876,356 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

При сравнении экономической эффективности трех предложенных вариантов проекта, необходимо доказать выбор того или иного варианта, для этого воспользуемся формулой приведенных затрат. И исходя из расчетов выберем единственно экономически выгодный вариант. При сравнении вариантов учитываются капитальные затраты и эксплуатационные расходы, по изменяющимся элементам затрат. Определим наиболее выгодный вариант расположения тяговых подстанций:

Вариант №1

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{пр1}} &= \frac{3500075,18}{(1+0,11+0,03)^0} + (1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^1} + \\
 &+ (1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^2} + (1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^3} + \\
 &+ (1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^4} + (1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^5} + \\
 &(1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^6} + (1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^7} + \\
 &+ (1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^8} + (1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^9} + \\
 &+ (1-0,2) \cdot \frac{243741,051}{(1+0,11+0,03)^{10}} = 4517158,52 \text{ тыс.руб.}
 \end{aligned}$$

Вариант №2

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{пр2}} &= \frac{3501119,16}{(1+0,11+0,03)^0} + (1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^1} + \\
 &+ (1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^2} + (1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^3} + \\
 &+ (1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^4} + (1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^5} + \\
 &(1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^6} + (1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^7} + \\
 &+ (1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^8} + (1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^9} + \\
 &+ (1-0,2) \cdot \frac{243876,356}{(1+0,11+0,03)^{10}} = 4518767,11 \text{ тыс.руб.}
 \end{aligned}$$

Таблица 3.9 – Общие экономические показатели вариантов размещения тяговых подстанций.

Варианты расположения тяговых подстанций	Вариант №1	Вариант №2
Капитальные затраты на возведение участка постоянного тока, тыс. руб.	3500075,18	3501119,16
Годовые эксплуатационные расходы, тыс. руб.	243741,051	243876,356
Приведенные затраты, тыс. руб.	4517158,52	4518767,11
Экономия приведенных затрат, тыс. руб.	1608,59	

Вывод: исходя из этих расчетов выбираем наиболее экономичную и рациональную схему расположения тяговых подстанций. Наиболее экономичным вариантом расположения является вариант №1, по формуле приведенных затрат расходы за 10 лет составят 4517158,52 тысяч рублей. Дальнейшие расчеты в работе будут производиться для первого варианта расположения подстанций.

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Меры электробезопасности при тушении пожара на электрифицированных линиях

4.1.1 Актуальность задачи

Все пожары, которые возникают на электрифицированных участках железных дорог, представляют особую опасность, из-за того, что провода и арматура контактной сети находятся под напряжением 3,3 кВ постоянного тока. Контакт с такими проводами и арматурой напрямую или через какие-либо токопроводящие предметы может привести к летальным исходам. Поэтому от всех работников, которые связаны с ликвидацией пожаров, настоятельно требуют строгого соблюдения правил личной безопасности.

Последствия, возникшие из-за действия электрического тока на организм человека, могут зависеть от множества факторов:

- по сравнению с постоянным, наиболее опасным является переменный ток;
- чем дольше ток действует на организм человека, тем тяжелее будут последствия;
- больше опасности для жизни человека представляет ток, который протекает в области сердца и органов дыхания, а также через головной и спинной мозг;
- Организм человека обладает сопротивлением, которое меняется в зависимости от физического и психологического состояния человека.

Минимальная величина тока, которую способен почувствовать организм человека составляет 1 мА. При такой величине человек начинает чувствовать себя некомфортно.

При увеличении тока с 1 до 15 мА, начинается судорожное сокращение мышц. Человек, при такой силе тока не способен контролировать свою мышечную систему, в следствии чего не может разорвать контакт с источником тока. Такой ток получил название неотпускаемый.

Электрический ток более 25 мА, при контакте с человеком парализует мышцы и органы дыхания, в результате чего человек может задохнуться. Если дальше увеличивать ток, то возникнет фибрилляция сердца.

Электрический ток может оказать три вида воздействий, при прохождении через организм человека:

- термическое;
- электролитическое;
- биологическое.

При термическом воздействии на теле человека появляются ожоги разнообразных форм, перегреваются кровеносные сосуды и нарушается работоспособность внутренних органов.

При электролитическом воздействии происходит распад крови и иной органической жидкости в тканях организма, в связи с этим вызывает значительные изменения ее физико-химического состава.

Биологическое воздействие срывает нормальную работу мышечной системы, что приводит к возникновению непроизвольных судорожных сокращений мышц. Такое влияние чревато для органов дыхания и кровообращения, таких как легкие и сердце, и способно привести к нарушению их функциональности.

4.1.2 Нормативные требования в области безопасности жизнедеятельности

В соответствии с требованиями и нормами пожарной безопасности (НПБ), правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и государственными стандартами России (ГОСТ Р) электроснабжение технических средств пожарной сигнализации, пожарного оповещения, дымоудаления и пожаротушения может осуществляться только от источника электроэнергии первой категории. Какие бы не были условия, электроснабжение таких средств не должно прекращаться. В случае аварии или нарушении оборудования, предусмотрен переход на резервное автономное питание. Включение в цепь электропитания средств устройств защитного отключения (УЗО) не допускается. Для обеспечения работоспособности противопожарных технических средств, их держат под напряжением даже в случае, если сработало аварийное отключение основных источников электроснабжения. Эти требования служат сопротивлением возникновения и распространения пожара, в связи с этим спасают жизни и здоровье людей. При возникновении пожара технические средства пожарной сигнализации (охранной сигнализации), пожарного оповещения, дымоудаления и пожаротушения должны быть в исправном и работоспособном состоянии.

Чтобы уменьшить опасность поражения электрическим током, большая часть данных технических средств, в соответствии с упомянутыми отечественными нормами, должна обеспечиваться электроэнергией от источников тока с малым электрическим напряжением. Такое напряжение, указанное в различных нормах, документациях, варьируется в пределах от 9 до 72 В.[9]

Все профессиональные проектировщики зданий и сооружений, а также разработчики аппаратуры руководствуются отечественными нормами, в связи с этим практически на всех действующих и строящихся объектах, которые снабжены средствами пожарной безопасности, имеются электрические цепи, которые постоянно находятся под напряжением от 9 до 72 В.

4.1.3 Действия работников при пожаре на электрифицированных линиях

При возникновении пожара в районе контактной сети, воздушных линий и связанных с ними устройств, необходимо сразу сообщить об этом поезвному диспетчеру, энергодиспетчеру или работникам района контактной сети, а также в пожарную охрану.

В случае если пожар возник на подвижном составе или в поезде, машинист немедленно должен сообщить поезвному диспетчеру и потребовать снятие напряжения с контактной сети и её заземления. Также эти действия следует выполнить, когда контактный провод касается подвижного состава или груза и есть вероятность пережога проводов. [7]

До снятия напряжения с контактной сети или воздушной линии, тушение горящих предметов разрешается производить только углекислотными, углекислотно – бром – этиловыми, аэрозольными и порошковыми огнетушителями, и не разрешается приближаться к проводам контактной сети и воздушных линий ближе 2 метров (рис. 4.1). При тушении воспламенения в электроустановках, находящихся под напряжением, применяют огнетушитель марки ОП – 4 АВСЕ. Для приведения огнетушителя в действие, необходимо: сорвать пломбу, выдернуть чеку, направить раструб на пламя и нажать на рычаг. [7]

При тушении пожара углекислотным огнетушителем не допускается:

- держать огнетушитель в горизонтальном положении или переворачивать головкой вниз;
- прикасаться оголёнными частями тела к раструбу, так как температура на его поверхности может понижаться до минус 60 – 70 градусов;
- при тушении электроустановок, находящихся под напряжением, подводить раструб ближе чем на 1 метр к электроустановке и пламени.

В случае, если горящие предметы находятся на расстоянии, превышающем 7 метров от контактной сети и воздушной линии, и находятся под напряжением, то тушение таких предметов можно осуществлять любым огнетушителем без снятия напряжения. Одновременно с этим необходимо следить, чтобы вода или пенный раствор не приближались к контактной сети ближе чем на 2 метра.

При тушении пожара на электрифицированных участках железных дорог с помощью пожарного поезда, руководителю необходимо получить письменное разрешение от представителя ЭЧ о снятии напряжения с проводов контактной сети и воздушных линий на расстояние не менее семи метров от горящих предметов и заземления их. В этом разрешении должен быть указан номер приказа энергодиспетчера и время снятия напряжения.

Бывает, что прибытие представителей ЭЧ и получение письменного разрешения занимает время, за которое может произойти значительное

развитие пожара с опасными последствиями. В таких случаях допускается принятие данного разрешения по радио связи.

На электрифицированных участках железных дорог, запрещается тушение пожара, до снятия напряжения, на расстоянии менее двух метров от контактной сети или воздушной линии, а у оборванных проводов контактной сети и воздушной линии ближе чем в восьми метрах до их заземления.

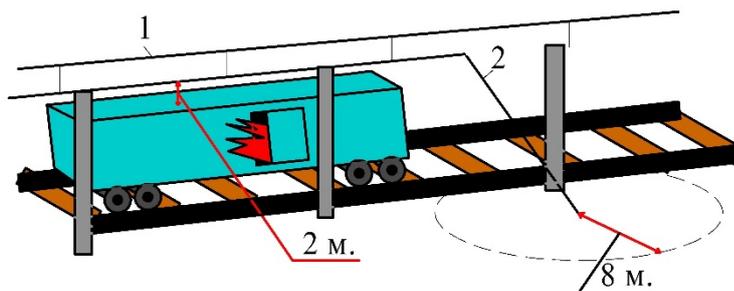


Рисунок 4.1 – Меры электробезопасности при тушении пожара на электрифицированных линиях
1-контактная сеть; 2-оборванный провод.

4.2 Экспертиза дипломного проекта на соответствие требованиям безопасности жизнедеятельности

4.2.1 Промышленная санитария

В трудовом процессе на человека влияют различные неблагоприятные факторы, такие как: пыль, шум, вредные красители, газы и пр. Эти факторы часто приводят к различным заболеваниям, в связи с которыми у человека теряется трудоспособность.

Службы производственной санитарии занимаются изучением технологических процессов, условий труда и окружающей обстановки, в которой работает человек. Существуют организационные, санитарно-гигиенические и лечебно-профилактические мероприятия, с помощью которых устраняются все факторы, которые отрицательно влияют на здоровье человека. Эти мероприятия направлены на повышение производительности условий труда на всех стадиях технологического процесса.

Факторы, негативно сказывающиеся на организм человека можно разделить на три основных вида:

- физические факторы;
- химические факторы;
- биологические факторы.

К физическим факторам можно отнести высокую или низкую температуру, тепловые излучения, шум, вибрацию и пр. К химическим

факторам относятся ядовитые вещества, пыль, газы, а к биологическим факторам относятся инфекционные заболевания.

Существует такое понятие как профессиональные вредности. Под профессиональными вредностями подразумеваются такие факторы, которые отрицательно сказываются на организме и здоровье человека в условиях его труда. Перед службой производственной санитарии стоит задача, выполнение которой направлено на улучшение условий труда и повышении его производительности на всех стадиях технологического процесса, а также требуется устранить все факторы, которые неблагоприятно действуют на здоровье человека.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны предусматриваются санитарными нормами предприятия. Такие концентрации не повлияют на здоровье человека за время его восьмичасового рабочего дня и всего рабочего стажа.

В рамки производственной санитарии и гигиены труда входят комплекс вопросов:

- обеспечение санитарно-гигиенических требований к воздуху рабочей зоны;
- обеспечение параметров микроклимата на рабочих местах.

Количественная оценка тяжести и напряженности трудового процесса по условиям труда проводится в соответствии с действующим документом по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса.

4.2.2 Безопасность труда

Электромонтеры, при работе на электрифицированных участках железной дороги, должны соблюдать правила техники безопасности и не допускать приближение самим и применяемыми в работе инструментами, к находящимся под напряжением, либо к отключенным, но не заземленным проводам, частям контактной сети и воздушных линий электропередач на расстояние менее двух метров.

Чтобы не допустить попадание в опасную зону токоведущих частей контактной сети и воздушной линии, при наличии на них напряжения, запрещается:

- подниматься на верхние площадки и крыши другого подвижного состава, на котлы цистерн;
- подниматься на фермы и стрелы путевых машин, дрезин, автотрис, стрелы и крыши кабин кранов и других машин;
- подниматься на элементы мостов и других сооружений, с которых возможно приближение к токоведущим частям ближе чем на 2 метра.

На мостах, электрифицированных участков железных дорог, на элементах пролетных строений и конструкциях подвески воздушных линий, опасная зона

обозначена красной полосой. Это обозначение наносят работники дистанции пути.

Все виды работ, которые проводятся на расстоянии менее чем в двух метрах от неогражденных частей контактной сети, волнопроводов и воздушных линий, необходимо производить после снятия напряжения и заземления этих частей на весь период работ. Заявку на такие виды работ нужно подавать не менее, чем за одни сутки. Приступить к таким работам разрешается только после получения руководителем работ письменного разрешения от представителя ЭЧ.

Так же строго запрещается контакт с оборванными проводами контактной сети, волнопроводов, воздушных линий и находящимся на них посторонними предметами, и подходить к ним на расстояние меньше восьми метров. В случае, если был найден такой провод, нужно немедленно оградить эту территорию и сообщить об этом руководителю работ, дежурному по станции или на ближайший дежурный пункт района контактной сети, или района электроснабжения. Если оборванные провода или другие элементы контактной сети, находящиеся под напряжением, могут быть задеты проезжающим поездом, то это место также ограждается сигналами остановки, согласно требованиям, из инструкции по сигнализации на железных дорогах как место препятствия.

В случае, если оборванный провод, лежащий на земле, будет на расстоянии меньше чем в восьми метрах, то есть вероятность попадания под шаговое напряжение. Чтобы избежать этого, следует выходить из этой зоны, делая маленькие шаги в пределах своей ступни, переступая с ноги на ногу.

К работам с опор и специальных конструкций контактной сети, на которых расположены устройства автоблокировки, допускаются работники дистанции сигнализации централизации и блокировки (СЦБ), имеющие группу по электробезопасности не ниже третьей.

4.2.3 Безопасность при чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям на железной дороге относятся пожары и взрывы, которые случаются в результате аварий подвижного состава.

Все вещества, которые способны взорваться, подразделяются на два типа:

- конденсированные вещества;
- взрывоопасные вещества.

К конденсированным относятся вещества такие как тринитротолуол, гексоген и динамит, а к взрывоопасным – газо-топливно-воздушные смеси, газы, пыли.

При взрывах этих веществ, поражающим фактором является воздушная ударная волна, которая представляет собой резкое сжатие воздуха,двигающегося со сверхзвуковой скоростью.

Границей чрезвычайной ситуации является зона, избыточное давление в которой составляет более 10 кПа. Внутри этой территории, при взрывах,

происходит разрушение и повреждение зданий, сооружений, а также поражение человеческих жизней.

Рядом особенностей обладают взрывы топливно-воздушных и газо-воздушных смесей, которые относятся к числу объемных. При таких взрывах образуется три поражающих фактора:

- воздушная ударная волна;
- тепловое поле;
- зона токсического задымления.

Мощность таких взрывов зависит от параметров окружающей среды, таких как температура и влажность воздуха.

Возникновение пожара обуславливается множествами факторами, такими как: аварии, катастрофы, стихийные бедствия, неосторожных действий людей. Пожар может охватывать любую территорию, но чрезвычайной ситуацией он становится в том случае, если для его ликвидации будет недостаточно сил и средств пожарной охраны, находящейся на этой территории.

Грамотное использование современных средств защиты, может спасти человека, находящегося в чрезвычайной ситуации.

Средства защиты подразделяются на три типа:

- индивидуальные;
- средства защиты первой медицинской помощи;
- коллективные.

Индивидуальные средства защиты, по назначению, делятся на средства защиты органов дыхания, кожи и медицинские, а по принципу действия на фильтрующие и изолирующие. Противогазы относятся к фильтрующим средствам защиты органов дыхания и применяются в системе МЧС России.

Фильтрующие противогазы существуют как для взрослых, так и для детей. Для взрослых применяются противогазы марки ГП-5, ГП-5М, ГП-7, ГП-7В. Для детей в школьном возрасте это противогаз марки ПДФ-Ш, в дошкольном возрасте – ПДФ-Д. Так же есть детская защитная камера КЗД. Фильтрующие противогазы являются средством защиты не только органов дыхания, но и глаз, кожи лица от воздействия ядовитых веществ и других вредных примесей, содержащихся в воздухе.

4.2.4 Экологическая безопасность

На железной дороге выполняются большие объемы работ с огромным потреблением природных ресурсов. В связи с этим происходят выбросы загрязняющих веществ в биосферу. Влияние железнодорожного транспорта на экологию проявляется в основном в загрязнении воздушной, водной среды и земель при строительстве и эксплуатации железных дорог. Источники загрязнения делятся на два вида: подвижные и стационарные. К подвижным источникам загрязнения относятся подвижные составы, оснащенные двигателями, при эксплуатации которых происходят выбросы загрязняющих

веществ в воздух. Стационарные источники загрязнения – это такие источники, перемещение которых без ущерба их назначению невозможно.

Пылящие грузы имеют значительную степень загрязнения и занимают более 17% развернутой длины железнодорожных линий. Во время перевозок вагонов-цистерн, из-за не герметичности клапанов и сливных приборов, происходит вытекание нефтепродуктов, способствующих загрязнению грунтовых вод в результате просачивания через почвенные горизонты.

На пассажирских поездах, из вагонов каждый километр выливается до 180 – 200 кубических метров водных стоков, тем самым загрязняя почву. 60% таких загрязнений происходят на перегонах, а остальные 40% на территории станций.

Перевозка опасных грузов считается особо тревожной с точки зрения экологической безопасности. В России довольно часто бывают крушения и аварии с опасными грузами, в следствии чего происходят утечки ядовитых веществ в окружающую среду.

Рефрижераторный подвижной состав оснащен холодильным оборудованием, в котором используются озоноразрушающие вещества. В вагоне находятся две таких холодильных машин, и каждая из них заправлена 35 килограммами фреона, насыщенного фторсодержащим углеводородом. Утечки этого вещества приводят к разрушению озона. Эта глобальная экологическая проблема, способствующая разрушению озонового слоя, требует скорейшего отказа от применения таких веществ в холодильном оборудовании.

В России существуют пятнадцать шпалопропиточных заводов (ШПЗ). На этих заводах осуществляется подготовка и пропитка деревянных шпал, идущих на ремонт и строительство железнодорожных путей. Основным источником выделения загрязняющих веществ является пропиточный цилиндр. Во время обработки шпал в воздушную среду выделяются вещества, относящиеся ко второму классу опасности, такие как: антрацен, нафталин, бензол, толуол, ксилол, фенол.

Остатки перевозимых грузов, минеральные и органические примеси, растворенные соли могут выбрасываться в окружающую среду при таких работах, как внутренняя и наружная обмывка грузовых и пассажирских вагонов. Такие пункты обычно не оснащены оборотным водоснабжением, из-за чего резко увеличивается потребление водных ресурсов и загрязнения окружающей среды. С целью сокращения объемов образующихся промышленных отходов, успешно применяется безотходный технологический процесс обмывки внутренних поверхностей железнодорожных цистерн, колесных пар и других деталей. Осуществляется этот процесс с помощью моющего препарата «УБОН» (универсальный безотходный отмыватель нефтепродуктов).

4.2.5 Выводы по разделу

В дипломном проекте, раздел безопасности жизнедеятельности состоит из двух частей.

В первой части раздела рассматриваются нормативные требования пожарной безопасности и действия работников при пожаре на электрифицированных участках железной дороги в области безопасности жизнедеятельности.

Во второй части раздела рассматривается комплекс вопросов, решаемых в рамках производственной санитарии и гигиены труда, особое внимание уделено микроклимату и защите от шума на рабочих местах. Описывается безопасность труда на электрифицированных линиях во избежание попадания в опасную зону токоведущих частей КС и ВЛ. Также рассматривается вопрос экологической безопасности.

С точки зрения безопасности жизнедеятельности дипломный проект соответствует требованиям и нормам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данного дипломного проекта нами были получены следующие данные по электрификации заданного участка:

1. Рассчитаны расходы ЭЭ на движение поезда для всех фидерных зон (например, для первого варианта расположения подстанций четного пути второй фидерной зоны расход составил 588,15 кВт·ч, для нечетного пути – 678,8 кВт·ч).

2. Были определены трансформаторные и выпрямительные мощности тяговых подстанций и выбраны типы головных понизительных и преобразовательных трансформаторов.

3. Было рассчитано экономическое сечение проводов КС и выбрана марка контактных подвесок для узловой схемы (например, для первого варианта расположения подстанций второй фидерной зоны выбрана подвеска М120+2МФ120+М120, для второго варианта – М95+2МФ100+2М120).

4. Для выбранных контактных подвесок произведена проверка на нагревание для наиболее нагруженных фидеров.

5. Выполнено экономическое сравнение для двух вариантов размещения подстанций, в результате которого первая схема оказалась более выгодной.

6. Для первой схемы выполнена оценка уровня напряжения в ТС и выполнен расчет реальной пропускной способности, которая для второй фидерной зоны оказалась равной 158 пары поездов в сутки; уровень напряжения на блок-участке равен 2942,4 В, что не ниже минимально допустимого. Поэтому схема по этим техническим параметрам годна к эксплуатации.

7. Выполнен расчет токовой защиты от токов короткого замыкания и выбран ток уставки.

8. Составлена схема питания и секционирования контактной сети для расчетного участка.

9. В данном дипломном проекте исследована защита опор, изолированных от рельса, дана краткая характеристика и принцип действия этой защиты, рассмотрена проверка работы защиты и техника безопасности, а также рассмотрена диодная защита.

10. В разделе безопасности жизнедеятельности рассматриваются меры электробезопасности при тушении пожара на электрифицированных линиях. В результате экспертизы на соответствие требованиям безопасности жизнедеятельности дипломный проект соответствует требованиям и нормам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Тер-Оганов Э. В. Расчет и анализ работы системы электроснабжения электрифицированных железных дорог с применением ЭВМ. Методическое руководство к курсовому и дипломному проектированию. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – 98с.
- 2 Правила технической эксплуатации железных дорог РФ. – М.: Транспорт, 1994. – 161с.
- 3 К.Г. Марквардт. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1983. – 456с.
- 4 Э.В. Тер-Оганов, А.А. Пышкин. Электроснабжение железных дорог: учебник для студентов университета (УрГУПС). – Екатеринбург: Издательство УрГУПС, 2014. – 432 с.
- 5 Экономика железнодорожного транспорта: Под редакцией Терешинной Н. П., Лapidуса Б. М., Трихункова. – М.; Транспорт, 2011.
- 6 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – 130 с.
- 7 Охрана труда и основы экологии на железнодорожном транспорте и в транспортном строительстве. Под ред. Крутякова В.С. – М.: Транспорт, 1993. – 352с.
- 8 Охрана труда на железнодорожном транспорте / Под ред. А.В. Лощина. – М.: Транспорт, 1977. – 447 с.
- 9 Кузнецов К.Б., Мишарин А.С. Электробезопасность в электроустановках железнодорожного транспорта: Уч. пособие для вузов ж. д. транспорта / Под ред. К.Б. Кузнецова. – М.: Изд-во Маршрут, 2005. – 456 с.
- 10 Охрана труда на железнодорожном транспорте. Учебник для вузов ж.-д. транспорта. / Под ред. Ю.Г. Сибарова. – М.: Транспорт, - 1981. – 287 с.
- 11 Правила электробезопасности для работников железнодорожного транспорта на электрифицированных железных дорогах. № ЦЭ-346. – М.: Транспорт, 1995. – 60 с.
- 12 Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте, ЦУО-112, М.: Транспорт, - 1994. – 159 с.