

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электрических сетей и электротехники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Строительство воздушной линии 10 кВ ПС «Новокормиловка» - ПС «Восход»</b>
<u>УДК 621.315.1:69:621.311.4</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А2Г3	Тажибаев Абдулазиз Абдухашимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Козлова Людмила Евгеньевна.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры менеджмента	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и БЖД	Бородин Юрий Викторович	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭСиЭ	Прохоров Антон Викторович	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

**Результаты обучения**  
**профессиональные и общекультурные компетенции**  
**по основной образовательной программе подготовки бакалавров**  
**13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,**  
**профиль «Электроэнергетические системы и сети»**

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные</i>		
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIOSyllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетических систем и сетей, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIOSyllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать электроэнергетические системы и электрические сети.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIOSyllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов электрических сетей энергосистем, а также энергосистемы в целом, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIOSyllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетических систем и электрических сетей.	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIOSyllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIOSyllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5),

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные</i>		
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетических систем.	Требования ФГОС (ПК–20, ПК–19, ПК–21), <i>CDIOSyllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в области электрических сетей энергосистем.	Требования ФГОС (ОК–5, ОПК–1, ПК–2), <i>CDIOSyllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК–6), <i>CDIOSyllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК–1, ОК–2, ОК–5, ОК–6), <i>CDIOSyllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетических систем и сетей с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК –, ОК–8, ОК–9, ПК–3, ПК–4, ПК–10), <i>CDIOSyllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ОК–7, ОК–8), <i>CDIOSyllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Электронного обучения  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра Электрических сетей и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Прохоров А.В.  
(Подпись)  
\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.) \_\_\_\_\_ (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
3–5А2Г3	Тажибаев Абдулазиз Абдухашимович

Тема работы:

<b>Строительство воздушной линии 10 кВ ПС «Новокормиловка» - ПС «Восход».</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	3486/с от 18.05.17

Срок сдачи студентом выполненной работы:	9.06.2017
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Проектирование ВЛ 10 кВ для повышения надежности электроснабжения ПС Восход Электрические расчеты; Выбор сечения проводов ВЛ по экономический плотности и количества цепей
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	– Описание объекта; – обоснование необходимости для строительство линии; – механический расчет воздушной линии электропередачи 10 кВ; – выбор и проверка оборудования и аппаратуры; – финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – социальная ответственность;
<b>Перечень графического материала</b>	– Электрическая схема замещение ПС Восход 500 кВ

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Социальная ответственность</b>	Бородин Юрий Викторович
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Кузьмина Наталия Геннадьевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Нет	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.02.2017
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Козлова Людмила Евгеньевна	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3–5А2Г3	Тажибаев Абдулазиз Абдухашимович		

## Оглавление

Список принятых сокращений.....	13
Реферат .....	14
Введение.....	15
Глава 1 Общие сведения о местности расположения объекта .....	20
Глава 2 Электрический расчет.....	22
2.2 Выбор сечения проводов ВЛ по экономической плотности тока и количества цепей.....	22
Глава 3 Расчет токов короткого замыкания .....	27
3.2 Расчет ударный ток. ....	29
Глава 4 Выбор разъединителей.....	30
Глава 5 Механический расчет воздушной линии электропередачи 10кВ.....	32
5.2 Выбор климатических условий для расчета провода на прочность.....	40
5.3 Определение длины габаритного пролета.....	42
5.4. Выбор изоляторов .....	45
5.5 Построение расстановочного шаблона. ....	49
5.6 Расчет нагрузки на опоры.....	52
5.7 Расчет свободностоящих одностоечных одноствольных опор. ....	57
Глава 6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережени.....	61
6.2 Планированиеи структура работ в рамках проекта.....	62
6.3 Смета затрат на проект .....	63
6.4 Расчет эксплуатационных затрат на в ВЛ 10 кВ.....	69
Глава 7 Социальная ответственность.....	71
7.2 Производственная безопасность.....	72
7.3 Установка опор .....	73
7.4 Монтаж провода.....	76
7.5 Производственная санитария.....	80
7.6 Пожарная безопасность.....	83
7.7 Экологическая безопасность.....	84

7.8 Чрезвычайные ситуации.....	85
7.9 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	87
Заключение .....	89
Список использованных источников .....	90
Приложение А .....	93
Приложение В.....	94
Приложение Г .....	96

## **Реферат**

Выпускная работа 98 страницы, 11 рисунок, 23 таблицы.

Ключевые слова: разъединитель, провода, габаритный пролет, стрела провеса, трасса линии.

Цель выпускной работы – проектирование ВЛ10 кВ для повышения надежности электроснабжения ПС Восход.

В процессе работы выполнены электрические расчёты для выбора провода воздушной линии электропередачи. Выполнен расчет токов короткого замыкания и на его основе произведен выбор отключающих аппаратов, установленных на опорах ВЛ, в начале и в конце линии электропередачи.

Выполнено проектирование воздушной линии электропередачи 10кВс расстановкой опор по трассе линии согласно проведенному механическому расчету.

Выпускная работа выполнена с помощью пакета программ Microsoft Office 2010.



## **ВВЕДЕНИЕ**

Омская энергосистема входит в Объединенную энергосистему Сибири, граничит с Новосибирской ЭС ОЭС Сибири, Тюменской ЭС ОЭС Урала и ЕЭС Казахстана и находится в зоне действия основных и распределительных сетей напряжением 110 – 500 кВ.

Функции передачи и распределения электроэнергии осуществляют предприятия МЭС Сибири ОАО «ФСК ЕЭС» и филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Омскэнерго».

Предприятие «Магистральные электрические сети» осуществляет эксплуатацию и обслуживание межсистемных электрических сетей напряжением 500 – 220 кВ на территории Омской области.

Филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Омскэнерго» осуществляет эксплуатацию и обслуживание электрических сетей 0,4-6-10-35-110 кВ на территории города Омска и Омской области, за исключением двух приграничных с ЕЭС Казахстана ПС 110 кВ Юбилейная и Полтавка, принадлежащих филиалу ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Сибири.

Территория Омской области вытянута с юга на север. Распределительная сеть области сформирована на напряжении 220-110 кВ радиальными и кольцевыми связями. Формирование питающей сети области определялось освоением территорий, необходимостью обеспечить электроснабжение коммунально-бытовых потребителей (как правило, радиально-кольцевые одноцепные связи), железнодорожных магистралей: Калачинского (Транссибирская железная дорога), Называевского и Иссилькульского направлений – двухцепные протяженные связи.

Связь с соседними энергосистемами осуществляется на напряжении 110 кВ:

1) с Новосибирской энергосистемой на напряжении 110 кВ по двухцепной ВЛ 110 кВ Валерино – Татарская

2) с Тюменской энергосистемой по одноцепной ВЛ 110 кВ Усть-Ишим – Каргалы

3) с ЕЭС Казахстана на напряжении 110 кВ по двухцепной ВЛ Иссылькульского тягового

4) транзита Юбилейная – Булаево (Казахстан) и на юго-западе области по ВЛ Полтавка – Кзыл-Ту (Казахстан).

Наиболее активный процесс формирования энергосистемы состоялся в пятидесятые-семидесятые годы прошлого века. Линии, питающие протяженные тяговые транзиты Называевского, Исилькульского направлений и Транс-Сибирскую железную дорогу, были первыми электрическими сетями напряжением 110 кВ в области и построены в 1955-1957 гг.

За последние 15-20 лет резко сократились объемы строительства электрических сетей, как для присоединения новых потребителей, так и взамен пришедших в негодность. Растет доля сетей, срок службы которых приближается к нормативному сроку или превышает его. Объемы износа оборудования достигли размеров, угрожающих энергобезопасности области.

В связи с чем, филиалом ОАО «МРСК Сибири» - «Омскэнерго» на основании «Генерального плана развития г.Омска и Омской области», корректировки НТР «схема электроснабжения г.Омска и Омской области на период 2010-2018 гг. с учетом перспективы 2020 года», сформирована и утверждена правительством Омской области инвестиционная программа по развитию электросетевой инфраструктуры в Омской области на 2010-2018 годы. Мероприятия данной инвестиционной программы синхронизированы с техническими мероприятиями Инвестиционной программы ОАО «ФСК ЕЭС» и направлены на развитие электросетевого комплекса 110-35-10 кВ, обеспечивающего присоединение новых потребителей, а также развитие промышленного сектора и социальной сферы в Омском регионе.

Выполнение инвестиционных программ сетевых организаций без развития собственной генерации увеличит зависимость Омской энергосистемы от внешних связей с ОЭС Сибири. Уже в настоящее время

дефицит мощности, не покрываемый собственной генерацией, составляет 550 МВт в зимний и 750 МВт в летний периоды, при этом собственный зимний максимум нагрузки Омской ЭС составляет 1746 МВт.

Дефицит мощности покрывается перетоком мощности с сетей ЕНЭС, максимально допустимое значение которого для Омской энергосистемы составляет 700 МВт и ограничивается пропускной способностью автотрансформаторов на ПС 500 кВ Таврическая, являющейся единственной связью Омской энергосистемы с системообразующей сетью 220-500 кВ.

С целью уменьшения зависимости Омского региона от сетей ЕНЭС и, соответственно, повышения энергобезопасности необходимо своевременно осуществлять ввод собственных генерирующих источников соразмерно постоянно увеличивающейся доле внешнего перетока (в зимний период 30% от сетей ЕНЭС, в летний период до 50%).

Так же необходимо учесть, что из-за снижения выработки мощности Омскими ТЭЦ переток электрической мощности, необходимый для электроснабжения интенсивно развивающейся Левобережной части г. Омска, осуществляется по системообразующим воздушным линиям 110кВ филиала «Омскэнерго», в связи с чем загрузка ВЛ-110 кВ «Московка-Октябрьская-ТЭЦ-3» достигла предельно допустимой, что не позволяет осуществлять присоединение новых потребителей к подстанциям 110/10кВ, питающимся от данных ВЛ-110 кВ, а в ремонтном и послеаварийном режимах приведет к ограничению в электроснабжении существующих потребителей. Вследствие чего 11 из 25 городских подстанций 110кВ филиала «Омскэнерго» в настоящее время закрыты для присоединения.

Учитывая, что ОАО «ФСК ЕЭС» считает нецелесообразным реализовывать проект строительства ВЛ-220 кВ «Иртышская – Московка», то для обеспечения развития Омского региона необходим ввод в работу ПС 500кВ «Восход» (2015 год) с заходами ВЛ-500 кВ «Таврическая – Барабинская» и ВЛ-220 кВ «Татарская – Омская ТЭЦ-4» и «Ульяновская – Московка». Строительство объекта обеспечит поставку дополнительных

объемов электрической энергии в Омскую область из объединенной энергосистемы Сибири, что позволит кардинально решить вопрос по надежности энергоснабжения региона.

Электроснабжение собственных нужд ПС 500 кВ «Восход» с потребной мощностью 1800кВт должно осуществляться от собственных сетей ПС 500кВ и резервироваться от ПС 110/35/10кВ «Новокормиловская» филиала ОАО «МРСК Сибири» - «Омскэнерго». Поскольку ПС «Новокормиловская» является ближайшей подстанцией с необходимым резервом мощности (существующая загруженность ПС согласно зимних максимумов нагрузки составляет 51%), и возможностью бесперебойного электроснабжения.

ОРУ ПС «Новокормиловская» выполнено по схеме 110-10 «Одна рабочая секционированная выключателем и обходная система шин с выключателями в цепях трансформаторов и обходным выключателем, с 5-ю смонтированными ячейками ВЛ-110кВ для захода ВЛ С-123 (Новокормиловская – Валерино), С-124 (Новокормиловская-Калачинская), С-14, С-13 (Густафьево-Новокормиловская), С-58 (Новокормиловская-Победитель). ОРУ 35 выполнено по схеме 35-12 «Две секционированные выключателем секции шин». КРУ-10 выполнено ячейками серии К-47, К-37 по схеме «Две секционированные выключателем секции шин».

Нормальный режим работы ПС предусматривает раздельную работу двух трехобмоточных трансформаторов типа ТДТН 16000/110 на напряжении 35 и 10 кВ, с изолированной нейтралью на стороне 110 кВ у силового трансформатора Т1 и глухо-заземленной – у трансформатора Т2. В случае отключения одного из трансформаторов автоматический ввод резерва (АВР) обеспечивает включение СМВ-35, СМВ-10, СВ-0,4кВ.

Подключение строящейся ВЛ-10кВ будет производиться к проходным изоляторам не задействованной ячейки 10кВ Нк-11.

## 1. Общие сведения о местности расположения объекта

Рельеф территории преимущественно ровный. Район прохождения трассы ЛЭП 10 кВ относится ко II району по ветру и II району по гололеду повторяемостью 1 раз в 10 лет и характеризуется следующими данными:

- температура воздуха при гололеде  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- максимальная температура  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- минимальная температура  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- расчетная зимняя температура (наружная температура наиболее холодной пятидневки)  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- среднегодовая температура  $+2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- скорость напора ветра на высоте 15 метров над уровнем земли  $77\text{ даН/м}^2$  ( $35\text{ м/с}$ );
- промерзание грунта для суглинков составляет  $1,87\text{ м}$ ;
- относительная влажность внутреннего воздуха  $55\%$ .

Площадка для строительства подстанции, согласно техническому отчету об инженерно-геологических изысканиях, характеризуется следующим литологическим составом инженерно-геологических элементов:

1) Слой 1 – почвенно-растительный слой с корнями деревьев, кустарника и травянистых растений. Распространен повсеместно по поверхности. Мощность слоя  $0,4-0,5\text{ м}$ .

2) Слой 2 – суглинок бурый и серовато-бурый, аллювиально-делювиальный от твердого до мягкопластичного, просадочный и непросадочный, ожелезненный, карбонатизированный.

По физико-механическим свойствам слой разделен на:

1) Слой 2.1 – суглинок аллювиально-делювиальный, твердый-полутвердый, просадочный. Мощность слоя 4,6 м.

2) Слой 2.2 – суглинок аллювиально-делювиальный, туго- мягко пластичный, непросадочный.

Грунты обладают высокой коррозионной активностью к углеродистой и низколегированной стали, неагрессивны к бетонным и железобетонным конструкциям.

В процессе эксплуатации сооружения уровень подземных вод может установиться на глубине 2,0 ÷ 3,0 м.

## 2. Электрический расчет

### 2.1 Исходные данные

Таблица1- Исходные данные

Участок	$l, \text{к м}$	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$P, \text{МВ}$ т	$Q, \text{МВ}$ Ар	$S, \text{МВ}$ А	$n_{\text{ц}}, \text{Ш}$ т.	$T_{\text{max}}, \text{ч}$
ЛЭП 10, кВ	6,8	10	1,800	0,872	2	1	3000

### 2.2 Выбор сечения проводов ВЛ по экономической плотности тока и количества цепей

Число цепей ЛЭП выбирается в зависимости от величины нагрузки и категории потребителей по степени бесперебойности электроснабжения. Так как ПС «Восход» относится к потребителям третьей категории, то для их питания необходимо выбрать одну цепь ЛЭП.

Для определения сечения провода линии воспользуемся понятием экономической плотности тока, которая определяется в предположении приближенной линейной зависимости стоимости сооружения 1 км линии электрической сети от сечения. Значения экономических плотностей тока нормируются в зависимости от конструктивного выполнения линий, проводникового материала и продолжительности использования максимальной нагрузки.

Расчётную величину сечения провода  $F_{\text{расч}}$ , мм<sup>2</sup> определяем по формуле:

$$F_{\text{расч}} = I_{\text{max}} / j_{\text{эк}}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{max}}$  – ток максимального режима в одной цепи линии электропередач;  
 $j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока алюминиевых неизолированных проводов при продолжительности использования максимума нагрузки  $T_{\text{max}}$  более 1000-3000 часов, равная 1,3 А/мм<sup>2</sup>, т.к. проектируемая ВЛ-10кВ является резервной и не предусматривает постоянных характер работы.

Ток максимального режима в одной цепи линии можно вычислить следующим образом:

$$I_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{max}}$  – активная максимальная мощность, кВт;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение линии электропередач, кВ;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности;

$n$  – количество цепей линии электропередач, шт.

$$I_{\text{max}} = \frac{1800}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,9} = 107,5 \text{ А}. \quad (3)$$

Тогда расчётная величина сечения провода:

$$F_{\text{расч}} = \frac{107,5}{1,3} = 82,7 \text{ мм}^2. \quad (4)$$

Полученное расчётное сечение округляем до ближайшего стандартного 95 мм<sup>2</sup>. Выбираем сталеалюминевый провод марки АС-95/16.

Таблица 2 - Параметры ВЛ

$U_{\text{ном}}$ , кВ	$S$ , МВА	$F_{\text{расч}}$ , м <sup>2</sup>	$I_{\text{ном}}$ , А	$I_{\text{п/ав}}$ , А	Марка провода	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$I_{\text{доп}}$ ,
10	1,800	82,7	107,5	107,5	АС-95/16	0,33	0,234	330

### 2.3 Проверка выбранных сечений ВЛ

В процессе эксплуатации провода ВЛ подвергаются ряду опасных и нежелательных воздействий, к числу которых относятся:



- повышенные механические нагрузки, вызванные природными факторами (ветер и гололедообразование на проводах ВЛ);
- чрезмерный нагрев в длительном установившемся режиме и при коротких замыканиях;
- внутренние (коммутационные) и грозовые перенапряжения.

Выбранные по условию экономической целесообразности сечения не всегда достаточны для того, чтобы токоведущие элементы и изоляция линий электропередачи работали в условиях, гарантирующих их стойкость к перечисленным выше воздействиям в течение расчетного срока службы. Поэтому окончательный выбор сечения можно сделать после проверки выполнения условий тремя способами: по короне, по механической прочности, по допустимой токовой нагрузке (по нагреву), обеспечивающих нормальную эксплуатацию линии.

### **2.3.1 Проверка сечений ВЛ по нагреву длительно допустимым током.**

Защита от перегрева проводов – важная задача, имеющая первостепенное значение для надежной работы сетей высокого напряжения.

Допустимая температура – это такая наибольшая температура, при которой провод сохраняет свои электрические и механические свойства.

Провода перегорают обычно в местах соединения, в которых выделяется больше тепла при протекании тока. Для обеспечения нормальных условий работы линии под нагрузкой, в частности для обеспечения надежной работы соединительных контактов и изоляции проводов, при нагреве проводов током нагрузки температура не должна превышать допустимых значений, поэтому проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных, и ремонтных режимов, и возможных неравномерностей распределения токов между линиями.

Неизолированные провода ВЛ в процессе эксплуатации подвергаются

нагреву протекающим по ним током, который изменяется в суточном резерве в соответствии с графиком нагрузки линии. Процессу нагрева проводов и соответствующему росту их температуры противостоит их охлаждение окружающей воздушной средой. Условия охлаждения меняются как в течении суток, так и по сезонам года. Из физических соображений ясно, что наибольшая температура провода будет иметь место при сочетании максимальной нагрузки линии с наихудшими условиями ее охлаждения. Поэтому осуществлять проверку на нагрев необходимо по получасовому максимуму тока, наибольшему из средних получасовых токов графика нагрузки в таком режиме, когда переток мощности по линии наибольший по сравнению с другими ситуациями.

Из всего выше сказанного следует, что проверку выбранных по условию экономической целесообразности сечений проводов ВЛ по допустимому нагреву надо производить не для нормальных режимов, а для режимов, связанных с длительным протеканием по линии увеличенной мощности, т.е. в послеаварийных и ремонтных режимах. Поэтому при проверке сечения провода данной проектируемой ВЛ, выбирается послеаварийный режим, при обрыве одной из параллельных линий. При этом ток послеаварийный должен быть меньше допустимого либо равен ему:

$$I_{п/ав} \leq I_{доп}. \quad (5)$$

В данном случае имеем:

$$I_{п/ав} = 107,5 \text{ А} < I_{доп} = 330 \text{ А}. \quad (6)$$

Таким образом, проверка выполняется.

### **2.3.2 Проверка сечений ВЛ по условию механической прочности.**

Механическая прочность воздушных линий – это способность проводов, грозозащитных тросов и опор выдерживать механические нагрузки, возникающие из-за собственного веса гололедных образований, изменения температуры и других факторов. Механическая прочность ВЛ в

значительной мере влияет на надежность работы электрической сети. Это относится к прочности, как опор, так и проводов.

Проверка экономически целесообразного сечения по условию механической прочности ВЛ напряжением 6-10 кВ должна осуществляться путем его сопоставления с сечением, минимально допустимым по данному условию  $F_{\text{мин.доп}}$ , т.е. проверяется выполнение неравенства:

$$F_{\text{расч}} < F_{\text{мин.доп}} \quad (7)$$

По условию механической прочности минимально допустимое сечение для сталеалюминевых проводов  $F_{\text{мин.доп}}$  должно быть не менее  $50\text{мм}^2$  [3], что меньше, чем принятые сечения, поэтому данная проверка выполняется.

### 2.3.3 Проверка выбранного провода по потере напряжения

Произведем проверку выбранного провода по потерям напряжения:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) \cdot l}{U_{\text{НОМ}}}, \quad (8)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление провода, Ом/км;

$x_0$  – удельное индуктивное сопротивление провода, Ом/км.

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) \cdot l}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{(1800 \cdot 0,33 + 871,78 \cdot 0,234) \cdot 6,8}{10,5} = 516,8 \text{ кВт}, \quad (9)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\% = \frac{516,8}{10500} \cdot 100\% = 4,9\%. \quad (10)$$

Согласно [4], допустимое падение напряжения должно составлять не более 5%, в нашем случае  $\Delta U_{\%} = 4,9$ .

Потери мощности составят:

$$\Delta P_{\%} = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100\% = \frac{516,8}{10500} \cdot 100\% = 4,9\%, \quad (11)$$

$$dP = 3 \cdot (I/1000) \cdot 2 \cdot r_0 \cdot x_0 = 3 \cdot (107,5/1000) \cdot 2 \cdot 0,33 \cdot 0,243 = 0,078 \text{ кВт}. \quad (12)$$

Выбранный нами провод АС 95/16 удовлетворяет всем параметрам.

### 3. Расчет токов короткого замыкания

Короткие замыкания (КЗ) возникают при нарушении режима работы электрической сети. Причины таких нарушений различны: старение оборудования, вследствие чего возникает пробой изоляции, набрось на провода ВЛ, обрывы проводов с падением на землю, механические повреждения изоляции кабельных линий при земляных работах, удары молнии в ВЛ.

Короткие замыкания, как правило, сопровождаются увеличением токов в поврежденных фазах до значений, превосходящих в несколько раз номинальные.

Протекание токов КЗ приводит к увеличению потерь электроэнергии в проводниках и контактах, что вызывает их повышенный нагрев, что может ускорить старение и разрушение изоляции, вызвать выгорание и сваривание контактов, потерю механической прочности шин и проводов. Поэтому, для нормальной и безопасной работы оборудования необходимо провести ряд расчетов, для проверки правильности выбора вводимых устройств релейной защиты и автоматики, различных коммутационной аппаратуры.

Перед расчётом токов КЗ на схеме замещения, намечаем точки КЗ для выбора и проверки электрических аппаратов и токоведущих частей.

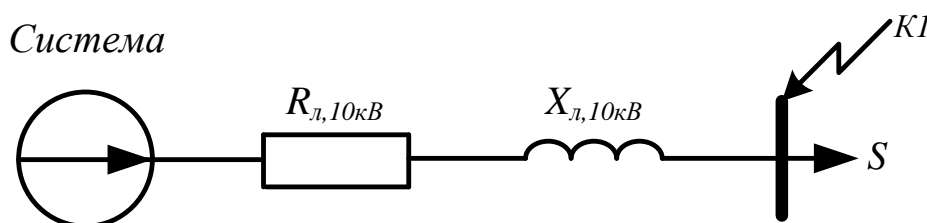


Рисунок 1. Схема замещения

Для расчета токов КЗ необходимо рассчитать сопротивления схемы.

$$X_{л} = l \cdot x_0 = 6,8 \cdot 0,234 = 1,6 \text{ Ом}, \quad (13)$$

$$R_{л} = l \cdot r_0 = 6,8 \cdot 0,33 = 2,3 \text{ Ом}, \quad (14)$$

$$Z_{л} = \sqrt{R_{л}^2 + X_{л}^2} = \sqrt{2,3^2 + 1,6^2} = 2,8 \text{ Ом}. \quad (15)$$

где  $l$  – длина ВЛ;

$x_0$  – удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом;

$r_0$  – удельное реактивное сопротивление ВЛ, Ом.

### 3.1 Расчет тока трехфазного короткого замыкания проектируемой ВЛ-10кВ

Для выбранной точки короткого замыкания выполняется условие  $U_{\text{ср.ном}} = U_6$  поэтому ток КЗ определяется по формуле [7]:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma}}, \quad (16)$$

$$I_K^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,8} = 2 \text{ кА}, \quad (17)$$

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^{(3)}, \quad (18)$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2 = 1,73 \text{ кА}. \quad (19)$$

где  $I_K^{(3)}$  – ток трехфазного короткого замыкания, кА;

$I_K^{(2)}$  – ток двухфазного короткого замыкания, кА.

### 3.2 Расчет ударный ток

Произведем расчет ударного тока короткого замыкания, ударный ток КЗ – это наибольшее мгновенное значение силы тока в электрической цепи при возникновении короткого замыкания. Сила тока в цепи достигает этого значения примерно через половину периода (для переменного тока) после возникновения короткого замыкания. При этом появляются наибольшие

силы взаимодействия между близко расположенными проводниками. По силе ударного тока КЗ проверяют электрические аппараты и проводники на электродинамическую стойкость.

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_K^{(3)}, \quad (20)$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 2,5 \cdot 2 = 7 \text{ кА}, \quad (21)$$

$$k_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{Ta}} = 1 + e^{\frac{-3,14 \cdot t_i}{x_i}}, \quad (22)$$

$$k_y = 1 + e^{\frac{-3,14 \cdot 2,3}{1,6}} = 2,5, \quad (23)$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент.

Ударный коэффициент показывает превышение ударного тока над амплитудой периодической слагаемой.

### 3.3 Мощность трехфазного КЗ

$$S_K^{(3)} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}} \cdot I_K^{(3)}, \quad (24)$$

$$S_{K1}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 2000 = 36,4 \text{ МВА}. \quad (25)$$

### 3.4 Расчёт теплового импульса

Тепловой импульс возникает в результате протекания тока КЗ и рассчитывается по формуле:

$$B_K = I_{K2}^2 \times (t_{P3} + Ta), \quad (26)$$

где  $B_K$  – тепловой импульс,  $\text{кА}^2\text{с}$ ;

$t_{P3}$  – время срабатывания релейной защиты, с;

$Ta$  – время затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с.

При напряжении 10 кВ время действия релейной защиты принимается 0,1 с, время затухания аperiodической составляющей 0,01с [3].

Тепловой импульс для точки К1:

$$B_{K1} = 22 \times (0,1 + 0,01) = 4,11 \text{ кА}^2\text{с}. \quad (27)$$

#### 4. Выбор разъединителей

Разъединители – это аппараты, предназначенные для включения и отключения участков электрической сети или электрических установок, не находящихся под нагрузкой. Разъединителями разрешается отключение и включение:

- нейтрале трансформаторов и дугогасящих катушек при отсутствии в сети замыканий на землю;
- зарядного тока шин и оборудования (кроме конденсаторных батарей);
- зарядного тока воздушных и кабельных линий - 2,5 А при 6 кВ и 2 А при 10 кВ;
- намагничивающего тока силовых трансформаторов трехполусными разъединителями с механическим приводом, имеющими изоляционные перегородки между полюсами, 5,5 А при 6 кВ и 4,5 А при 10 кВ, не имеющими изоляционных перегородок - 3,5 и 3,0 А соответственно;
- однополюсными разъединителями 3,5 А при 6 кВ и 3,0 А при 10 кВ.

Допускается отключать и включать трехполусными разъединителями нагрузочный ток линий до 15 А. С помощью разъединителей отделяют от сети различные аппараты, оборудование, кабельные и воздушные линии, на которых должны проводиться ремонтные, наладочные или испытательные работы.

Допустимо производить выбор разъединителей по параметрам:

- напряжению установки  $U_{уст} \geq U_{ном}$ ;
- длительному току  $I_{уст} \leq I_{ном}$ ;  $I_{max} \leq I_{ном}$ ;
- длительной электродинамической стойкости  $i_y \leq i_{дин}$ ;
- термической стойкости  $B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$ ,

где  $B_k$  – расчётный тепловой импульс,  $кА^2 \cdot с$ ;

$I_{терм}$  – ток термической стойкости выключателя, кА;

$t_{\text{терм}}$  – время термической стойкости выключателя, с.

В соответствии с перечисленными условиями выбираем на стороне 10 кВ разъединитель РЛНД - 10/200.

Условия выбора сводим в таблицу 3.

Таблица 3 - Выбор разъединителя ВЛ 10 кВ.

Расчётные данные	Каталожные параметры разъединителя	Условия выбора
Разъединитель РЛНД - 10/200		
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} \geq U_{\text{ном}}$
$I_{\text{раб}} = 107,5 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 200 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$
$i_{\text{уд}} = 7 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$
$B_K = 0,411 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 5^2 \cdot 10 = 250 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}$



## **5. Механический расчет воздушной линии электропередачи 10 кВ**

При проектировании, сооружении и эксплуатации сетей электрических систем приходится решать вопросы конструктивного исполнения ВЛ. Выбор конструкции ВЛ оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели и надежность работы смежных инженерных сооружений (линий связи, транспортные магистрали и т.д.).

В общем случае в состав основных вопросов проектирования конструктивной части ВЛ входит выбор и определение:

- материалов и конструкций проводов и грозозащитных тросов;
- расчет длин промежуточных пролетов линии;
- механических нагрузок и сил, действующих на провод, тросы и опоры;
- механических напряжений проводов и тросов в различных режимах работы и для всего возможного диапазона изменений климатических условий;
- наибольших стрел провеса проводов и тросов;
- расстановка промежуточных опор по профилю трассы.

Трасса проектируемой ВЛ выбрана из условий наиболее рационального прохождения по землям населенного пункта, а также с наименьшей длиной линии и минимальным количеством переходов и углов поворота. В геоморфологическом отношении трасса ВЛ находится в пределах равнины, рельеф участка относительно ровный.

Геологическое строение площадки представлено отложениями четвертичного периода – супесями с суглинками и песком. На поверхности площадка покрыта почвенно-растительным слоем.

В районе проектирования ВЛ климат резко континентальный. Зима холодная и продолжительная. Лето жаркое и короткое. Район относится к зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения.

Район прохождения трассы ВЛ относится к II району по ветру и II району по гололеду повторяемостью 1 раз в 10 лет и характеризуется следующими данными:

- температура воздуха при гололеде составляет минус 5 °С;
- максимальная температура составляет 40 °С;
- минимальная температура составляет минус 45 °С;
- среднегодовая температура составляет 2,6 °С;
- нормативное ветровое давление на высоте 10 м над поверхностью земли
- нормативная толщина стенки гололеда 15 мм;
- промерзание грунта для суглинков составляет 1,87 м.

Таблица 4-Технические данные провода АС-95/16 [2]

Параметры	Проводник	Сердечник	Провод
Сечение, мм <sup>2</sup>	95,4	15,9	111,3
Диаметр, мм	–	4,5	13,5
Масса, кг/км	–		385

### **5.1 Расчет удельных механических нагрузок от внешних воздействий на провода**

Согласно [3], выбираем интенсивность внешних воздействий на конструктивные элементы воздушной линии исходя из частоты повторяемости наибольших гололедной и ветровой нагрузок 1 раз в 25 лет, при этом нормативное ветровое давление  $W_0$  на высоте 10 м над поверхностью земли принимают во II ветровом районе 500 Па [3], а

нормативная толщина стенки гололеда, во втором гололедном р-не составляет 15мм [3].

Нормативная толщина стенки гололеда в мм для высоты до 10 м над поверхностью земли

По таблице из справочных материалов для линии заданного класса напряжения и для заданной местности, где будет проходить трасса воздушной линии выбираем наименьшее допустимое расстояние от проводов воздушной линии до поверхности земли – вертикальный нормированный габарит  $h_2 = 6\text{м}$  [3].

### 5.1.1 Удельные механические нагрузки на провод.

Постоянно действующая нагрузка от собственной массы провода  $\gamma_1$ :

$$P_n = M_n \cdot g \cdot 10^{-3}, \quad (28)$$

где  $M_n$  – масса провода, кг/км;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

$$P_n = M_n \cdot g \cdot 10^{-3} = 385 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 3,78, \text{ Н/м} \quad (29)$$

Тогда постоянно действующая нагрузка от собственной массы определится по формуле:

$$\gamma_1 = \frac{M \cdot g}{F_{\text{пр}}} \cdot 10^{-3} \quad (30)$$

где  $F_{\text{пр}}$  – площадь поперечного сечения,  $\text{мм}^2$ ;

$10^{-3}$  – для получения единичной нагрузки от собственного веса в килограммах на один метр следует разделить на 1000 вес, указанный в стандарте.

$$\gamma_1 = \frac{385 \cdot 9,8}{113,3} \cdot 10^{-3} = 0,034 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2. \quad (31)$$

Нормативная гололедная нагрузка  $P_{\text{гл}}^{\text{н}}$  определяется по формуле:

$$p_{\text{гл}}^{\text{н}} = \pi \cdot Ki \cdot Kd \cdot v_3 \cdot (d_n + Ki \cdot Kd \cdot v_3) \cdot p \cdot g \cdot 10^{-3} \quad (32)$$

где  $Ki, Kd$  – коэффициенты учитывающие изменения толщины стенки гололеда на высоте и в зависимости от диаметра [3];

$v_э$ – толщина стенки гололеда;

$d_n$ – диаметр провода;

$\rho$ – плотность льда, г/см<sup>3</sup>.

Для определения  $Kd$ ,  $Ki$  найдем высоту расположения приведенного центра тяжести проводов над поверхностью земли по формуле:

$$h_{пр} = h_{ср} - \frac{2}{3} f \quad (33)$$

где  $h_{ср}$ – среднее арифметическое значение высоты крепления проводов, м;

$f$ – стрела провисания при высшей температуре или гололеде без ветра, м.

На данном этапе выразим среднее арифметическое значение высоты крепления проводов через высоты крепления всех проводов, подвешенных на опоре.

$$h_{пр} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{тр}^i}{n} \quad (34)$$

где  $n$ – число зон, отсчитываемых от поверхности земли, в месте установки опоры;

$H_{тр}$ – высота крепления провода на траверсе, м;

Для железобетонной опоры марки СВ-105-3,6 с траверсой ТМ-1:

$H_{тр}^{нж}$  - высота крепления проводов к нижней траверсе - 8,2м;

$H_{тр}^в$  - высота крепления проводов к верхней траверсе - 9,2м.

$$h_{пр} = \frac{8,2+9,2}{2} = 8,6\text{м} \quad (35)$$

### П10-1

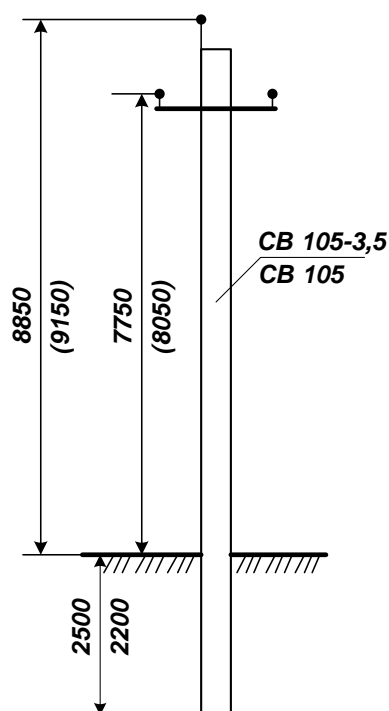


Рисунок 2. Промежуточная опора П10-1

Таблица 5 - Характеристики железобетонной стойки СВ 105-3,5

Расчетный изгибающий момент, кНм	50
Марка бетона	400
Объем бетона, м <sup>3</sup>	0,47
Вес опоры, т	1,2

#### 5.1.2 Определение стрелы провеса

На данном этапе определим стрелу провеса при средних эксплуатационных условиях работы:

Согласно таблице 4: провод АС-95/16  $F_A=95,4\text{мм}^2$ ,  $F_C=15,9\text{мм}^2$ ;

Отношение  $F_A/ F_C=95,4/15,9=6$

В соответствии с [3], для проводов марки АС 95 при  $F_A/F_C=6$  допускаемое напряжение при  $t$  среднегодовой  $\sigma=90\text{ Н/мм}^2$ ,  $\sigma_{\text{наиб}}=120\text{ Н/мм}^2$ .

Следовательно стрела провеса будет равна:

$$f = \frac{\gamma l^2}{8 \cdot \sigma} = \frac{0,034 \cdot 80^2}{8 \cdot 90} = 0,3 \text{ м}, \quad (36)$$

а нормативная гололедная нагрузка:

$$p_{\text{гн}}^{\text{н}} = 3,14 \cdot 1 \cdot 0,965 \cdot 15 \cdot (13,5 + 1 \cdot 0,965 \cdot 15) \cdot 0,9 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} = 11,23 \text{ Н/м}. \quad (37)$$

Высота приведенного центра тяжести проводов над поверхностью земли:

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ср}} - \frac{2}{3} f = 8,68 - \frac{2}{3} \cdot 0,3 = 8,48 \text{ м}, \quad (38)$$

где  $Ki$  – коэффициент высоты среднего приведенного центра тяжести провода [3];

$Kd = 0,965$  [3].

Находим расчетную гололедную нагрузку на 1 м провода [3],

$$P_{\text{гп}} = P_{\text{г}}^{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{пг}} \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot \gamma_{\text{д}} \cdot \gamma_{\text{ф}}, \quad (39)$$

где  $\gamma_{\text{пг}}$  – коэффициент надежности по ответственности, равен 1 до 220кВ;

$\gamma_{\text{р}}$  – районный коэффициент принимаем равным 1;

$\gamma_{\text{д}}$  – коэффициент условий работы принимаем равным 0,5;

$\gamma_{\text{ф}}$  – коэффициент надежности по гололедной нагрузке для 2<sup>го</sup> района по гололеду и выше принимаем равным 1,3.

$$P_{\text{гп}} = P_{\text{г}}^{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{пг}} \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot \gamma_{\text{д}} \cdot \gamma_{\text{ф}} = 11,23 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1,3 = 7,3 \text{ Н/м}. \quad (40)$$

Находим удельную гололедную нагрузку:

$$\gamma_{\text{гп}} = \frac{P_{\text{гп}}}{F_{\text{пг}}} = \frac{7,3}{113,3} = 0,065 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2. \quad (41)$$

Результирующая нагрузка от веса провода и гололеда:

$$P_{\Sigma 1} = P_{\text{п}} + P_{\text{гп}} = 3,78 + 7,3 = 11,1 \text{ Н/м}. \quad (42)$$

Удельная гололедная нагрузка от веса провода и гололеда:

$$\gamma_{\Sigma 1} = \frac{P_{\Sigma 1}}{F} = \gamma_{\text{п}} + \gamma_{\text{гп}} = \frac{11,1}{113,3} = 0,099 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2. \quad (43)$$

Ветровая нагрузка, действующая на 1 м провода без гололеда, перпендикулярно проводу.

Нормативная ветровая нагрузка [3]:

$$P_w^H = \alpha_w \cdot K_L \cdot K_w \cdot C_x \cdot W \cdot F \cdot \sin^2 \varphi, \quad (44)$$

где  $\alpha_w$  – коэффициент, учитывающий неравномерность ветровой нагрузки принимаем равным 0,71 при нормативном ветровом давлении равным 500 Па;

$K_L$  – коэффициент, учитывающий влияние длины пролета, при длине пролета 100м. и более принимаем равным 1,1;

$K_w$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от местности. Чтобы определиться с типом местности нужно обратиться к пункту 2.5.6 [3], затем в п.2.5.52, где в зависимости от типа местности определим коэффициент  $K_w$  методом аппроксимации:  $K_w=0,65$ ;

$C_x$  – коэффициент лобового сопротивления принимаем равным 1.2, для проводов свободных от гололеда  $d=20$ мм и более [3];

$W$  – нормативное ветровое давление;

$F$  – площадь продольного диаметрального сечения провода, м<sup>2</sup>.

Т.к. ветровая нагрузка действует перпендикулярно проводу то  $\sin^2 \varphi=1$ , угол  $\varphi=1$ .

Подставим выбранные значения:

$$\begin{aligned} P_w^H &= \alpha_w \cdot K_L \cdot K_w \cdot C_x \cdot W \cdot F \cdot \sin^2 \varphi = \\ &= 0,71 \cdot 1,1 \cdot 0,65 \cdot 1,2 \cdot 500 \cdot 13,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 4,11 \text{ Н/м.} \end{aligned} \quad (45)$$

Расчетная ветровая нагрузка на провод без гололеда [3]:

$$P_{wn} = P_w^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f, \quad (46)$$

$\gamma_{nw}$  – коэффициент надежности по ответственности, принимаем равным 1 до 220кВ, [3];

$\gamma_p$  – районный коэффициент принимаем равным 1;

$\gamma_f$  – коэффициент надежности по ветровой нагрузке, принимаем равным 1,1.

$$P_{wn} = P_w^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 4,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 4,52 \text{ Н/м.} \quad (47)$$

Удельная ветровая нагрузка на 1 м провода без гололеда:

$$\gamma_w = \frac{P_w}{F} = \frac{4,52}{113,3} = 0,041 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2. \quad (48)$$

Нормативная ветровая нагрузка на 1 м провода с гололедом, действующая перпендикулярно проводу.

$$P_{wz}^n = \alpha_w \cdot K_L \cdot K_w \cdot C_x \cdot W_r \cdot F \cdot \sin^2 \varphi, \quad (49)$$

где  $\alpha_w=1$ ;

$K_L, K_w$  – прежние;

$C_x$  – коэффициент лобового сопротивления для проводов и тросов, покрытых гололедом;

$W_r$  – нормативное ветровое давление при гололеде, принимаем равным 125 Па.

После того, как нашли  $W_r$  определим коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ:

$$F = (d_n + 2K_i \cdot K_d \cdot b_y) \cdot 10^{-3}, \quad (50)$$

где  $b_y$  – условная толщина стенки гололеда, если нет данных метеонаблюдений, то  $b_y = b_3 = 15 \text{ мм}$  [3].

$$F = (d_n + 2K_i \cdot K_d \cdot b_y) \cdot 10^{-3} = (13,5 + 2 \cdot 1 \cdot 0,965 \cdot 15) \cdot 10^{-3} = 0,042 \text{ м}^2, \quad (51)$$

$$\begin{aligned} P_{wz}^n &= \alpha_w \cdot K_L \cdot K_w \cdot C_x \cdot W_r \cdot F \cdot \sin^2 \varphi = \\ &= 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1,2 \cdot 125 \cdot 0,042 \cdot 1 = 4,55 \text{ Н/м}. \end{aligned} \quad (52)$$

Находим расчетную нагрузку:

$$P_{wz} = P_{wz}^n \cdot \gamma_{mw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 4,55 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 5,9 \text{ Н/м}, \quad (53)$$

где  $\gamma_{mw}, \gamma_p$  – ранее приведенных расчетов;

$\gamma_f$  – коэффициент надежности по гололедной нагрузке, равный 1,3 для II района по гололеду.

Находим удельную ветровую нагрузку:



$$\gamma_{w2} = \frac{P_{w2}}{F} = \frac{5,9}{113,3} = 0,053 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2. \quad (54)$$

Результирующая нагрузка на провод без гололеда от давления ветра:

$$P_{\Sigma 2} = \sqrt{P_n^2 + P_{w2}^2} = \sqrt{3,78^2 + 4,52^2} = 5,89 \text{ Н/м}. \quad (55)$$

Находим удельную нагрузку на провод без гололеда от давления ветра:

$$\gamma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma 2}}{F} = \frac{5,89}{113,3} = 0,053 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2. \quad (56)$$

Результирующая нагрузка на провод с гололедом от давления ветра:

$$P_{\Sigma 3} = \sqrt{P_{\Sigma 1}^2 + P_{w2}^2} = \sqrt{11,1^2 + 5,9^2} = 12,55 \text{ Н/м}. \quad (57)$$

Находим удельную нагрузку:

$$\gamma_{\Sigma 3} = \frac{P_{\Sigma 3}}{F} = \frac{12,55}{113,3} = 0,1128 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2. \quad (58)$$

Вывод: сравнивая все  $\gamma$  выбираем наибольшую. Наибольшей будет результирующая нагрузка на провод с гололедом от давления ветра  $\gamma_{\Sigma 3} = \gamma_{нб} = 0,1128 \text{ Н/м}\cdot\text{мм}^2$ .

## **5.2 Выбор климатических условий для расчета провода на прочность**

Согласно ПУЭ механический расчет проводов и тросов производится по методу допускаемых напряжений. При проведении расчетов по этому методу необходимым условием является работа провода в пределах упругости его материала, т.е. когда внешние силы (нагрузки) вызывают в проводе только упругие деформации. При этом возникающие в проводе напряжения « $\sigma$ » будут пропорциональны величине внешней растягивающей силы и продольным деформациям. Растягивающее усилие в проводе может изменяться как в зависимости от изменения температуры окружающей среды, так и в зависимости от изменения нагрузок на провод. По мере изменения растягивающего усилия в нем изменяется и напряжение « $\sigma$ ».

Для ВЛ 10 кВ, находящейся в районе со среднегодовой температурой равной  $2,6^{\circ}\text{C}$ , температурой гололедообразования равной минус  $5^{\circ}\text{C}$  и наиболее низкой температурой равной минус  $45^{\circ}\text{C}$ , определим [5]:

- температурный коэффициент линейного расширения провода ( $\alpha$ );
- модуль продольной упругости ( $E$ );
- допускаемые напряжения, рассчитанные для значений  $t_{\text{сг}}$ ,  $t_{\text{г}}$  и  $t_{\text{нб}}$  ( $\sigma_{\text{сг}}$ ,  $\sigma_{\text{г}}$ ,  $\sigma_{\text{нб}}$ );
- критические пролеты ( $l_{1к}$ ,  $l_{2к}$ ,  $l_{3к}$ ).

Кроме того, необходимо выбрать определяющие климатические условия для расчета провода на прочность.

Согласно [3]:

$$E = 8,25 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\alpha = 19,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}.$$

По [3]:

$$\sigma_{\text{нб}} = 120 \text{ - в состоянии провода, когда действует } \gamma_{\text{нб}}, \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\text{г}} = 120 \text{ - в состоянии провода, когда действует } t_{\text{г}}, \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\text{сг}} = 90 \text{ - в состоянии провода, когда действует } t_{\text{сг}}, \text{ Н/мм}^2.$$

Каждое из этих значений не может быть превышено в процессе работы ВЛ.

Рассчитаем длину критического пролета. Согласно [3], расчет воздушной линии необходимо производить для сочетания следующих условий или режимов:

— Режим 1: режим низших температур  $t_{\text{г}}$  - ветер и гололед отсутствуют  $\gamma = \gamma_{\text{п}}$ ;

— Режим 2: наибольших нагрузок, в качестве режима может рассматриваться режим наибольшего скоростного напора для провода без гололеда, т.е.  $\gamma = \gamma_{\Sigma 2}$ ,  $t = t_{\text{гол}}$  [3], либо режим гололеда, т.е.  $\gamma = \gamma_{\Sigma 3}$ ,  $t = t_{\text{гол}}$ ;

— Режим 3: среднеэксплуатационный режим (режим среднегодовых температур  $t_{\text{сг}}$ ). Ветер и гололед отсутствуют, т.е.  $\gamma = \gamma_{\text{пр}}$ .

Определяем допустимые напряжения в зависимости от температуры и длины пролета находим критические пролеты:

$$l_{1k} = 4,9 \frac{\sigma_-}{\gamma_n} \sqrt{\frac{(\sigma_- - \sigma_{c3}) + \alpha E (t_{cr} - t_-)}{E \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_-}{\sigma_{c3}} \right)^2 \right]}} = \quad (59)$$

$$4,9 \frac{120}{0,034} \sqrt{\frac{(120-90) - 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 (2,6 - (-45))}{8,25 \cdot 10^4 \left[ 1 - \left( \frac{120}{90} \right)^2 \right]}} = 460,9 \text{ м,}$$

$$l_{2k} = 4,9 \frac{\delta_{нб}}{\gamma_n} \sqrt{\frac{\alpha (t_r - t_-)}{\left( \frac{\gamma_{нб}}{\gamma_n} \right)^2 - 1}} = 4,9 \frac{120}{0,034} \sqrt{\frac{19,2 \cdot 10^{-6} (-5 - (-45))}{\left( \frac{0,1128}{0,034} \right)^2 - 1}} = 151,46 \text{ м,} \quad (60)$$

$$l_{3k} = 4,9 \frac{\sigma_{нб}}{\gamma_n} \sqrt{\frac{(\sigma_{нб} - \sigma_{c3}) + \alpha E (t_r - t_{cr})}{E \left[ \left( \frac{\gamma_{нб}}{\gamma_n} \right)^2 - \left( \frac{\sigma_{нб}}{\sigma_{c3}} \right)^2 \right]}} = \quad (61)$$

$$= 4,9 \frac{120}{0,034} \sqrt{\frac{(120-90) + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 (-5 - (2,6))}{8,25 \cdot 10^4 \left[ \left( \frac{0,1128}{0,034} \right)^2 - \left( \frac{120}{90} \right)^2 \right]}} = 84 \text{ м.}$$

В связи с тем, что  $l_{1k} > l_{2k} > l_{3k}$  и принимаем расчетный режим 1 (РЕЖИМ 1 – режим низших температур  $t$ . ветер и гололёд отсутствуют, то есть  $\gamma = \gamma_n$ ).

### 5.3 Определение длины габаритного пролета

Для строящейся ВЛ 10 кВ на местности, характеризуемой наивысшей температурой воздуха равной 45°C [5], рассчитаем значение критической температуры воздуха и выявим климатические условия, соответствующие наибольшему провисанию провода. Вычислим длину габаритного пролета воздушной линии.

Определяем критическую температуру по формуле:

$$t_{кр} \approx (t_r - 3) + \frac{\delta_{нб}}{\alpha E} \frac{\gamma_n}{\gamma_{\Sigma 1}} = (-5 - 3) + \frac{120}{19.2 \cdot 10^{-6} \cdot 8.25 \cdot 10^4} \frac{0.034}{0.99} = 17,83 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (62)$$

Вычислив критическую температуру, сравниваем ее с абсолютной наивысшей температурой, взятой из исходных данных. И так как  $t_+ > t_{кр}$  ( $40^\circ\text{C} > 17,83^\circ\text{C}$ ) делаем вывод о том, что наибольшая стрела провеса провода будет при наибольшей температуре.

Таким образом, наибольшее провисание провода имеет место при нагрузках провода собственной массой, то есть при удельной механической нагрузке.

Габаритным пролетом называется промежуточный пролет воздушной линии такой длины, при которой на ровной местности для заданных высот подвески проводов на соседних опорах обеспечивается нормируемый вертикальный габарит от низшего провода до земли при климатических условиях, соответствующих наибольшему провисанию провода заданной марки. Определение габаритного пролета приведено на рисунке 3.

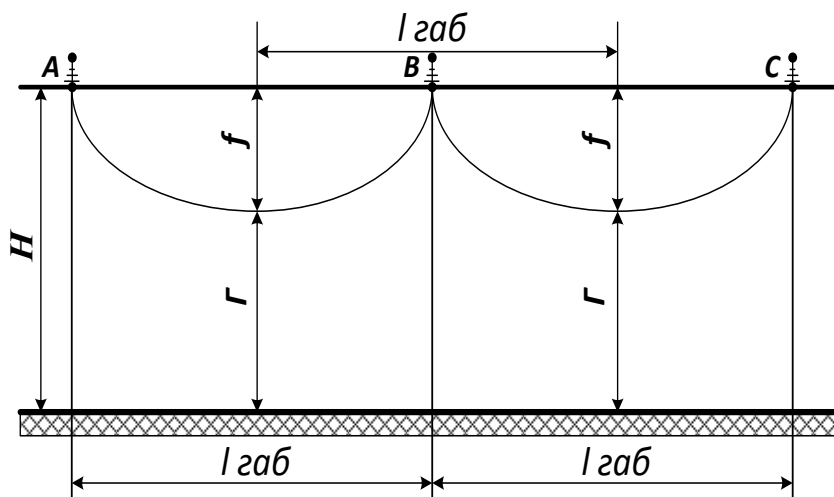


Рисунок 3. Определение габаритного пролета

Габаритный пролет является наиболее выгодным при расстановке опор на местности. Значение габаритного пролета определяется путем решения уравнения состояния провода, в котором исходными условиями являются расчетные, а искомыми – габаритные.

Длина габаритного пролета ВЛ определяется по формуле:

$$l_{\text{габ}}^4 \left[ \frac{\gamma_f}{8f} + \left( \frac{\gamma_{[\sigma]}}{\sigma} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} \right] - l_{\text{габ}}^2 [\sigma + \alpha E (t_\sigma - t_f)] - \frac{8}{3} f^2 E = 0, \quad (63)$$

где  $\gamma_f$  – удельная механическая нагрузка, при которой имеет место наибольшее провисание провода;

$\gamma_{[\sigma]}$  – удельная механическая нагрузка, принятая как исходная для расчета провода на прочность;

$\sigma$  – напряжение в проводе, принятое как исходная для расчета провода на прочность;

$t_\sigma$  – температура, принятая как исходная для расчета провода на прочность;

$t_f$  – температура, при которой стрела провисания провода достигнет максимального значения.

Для упрощения расчетов уравнения состояния провода разбиваем на три части и вводим коэффициенты:

$$A = \left[ \frac{\gamma_f}{8f} + \left( \frac{\gamma_{[\sigma]}}{\sigma} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} \right] = \left[ \frac{0,034}{8 \cdot 0,3} + \left( \frac{0,034}{120} \right)^2 \cdot \frac{8,25 \cdot 10^4}{24} \right] = 0,014. \quad (64)$$

$$B = [\sigma + \alpha E (t_\sigma - t_f)] = [120 + 19,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8,25 \cdot 10^4 (-5 - 40)] = 48,72. \quad (65)$$

$$C = \frac{8}{3} f^2 E = \frac{8}{3} 0,3^2 \cdot 8,25 \cdot 10^4 = 20016,44. \quad (66)$$

Получили уравнение вида:

$$0,014 l_{\text{габ}}^4 - 48,72 l_{\text{габ}}^2 - 20016,44 = 0 \quad (67)$$

Для того, чтобы найти  $l_{\text{габ}}$ , необходимо вычислить корень уравнения:

$$l_{\text{габ}} = \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}} = \sqrt{\frac{48,72 + \sqrt{48,72^2 + 4 \cdot 0,014 \cdot 20016,44}}{2 \cdot 0,014}} = 62 \text{ м}. \quad (68)$$

Значение  $l_{\text{габ}} = 62 < l_{2к}$ , следовательно, расчетные условия необходимо изменить. Пересчитаем стрелу провисания провода для габаритного пролета:

$$l_{\text{габ}} = \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}} = \sqrt{\frac{48,72 + \sqrt{48,72^2 + 4 \cdot 0,014 \cdot 20016,44}}{2 \cdot 0,014}} = 62 \text{ м.} \quad (69)$$

## 5.4 Выбор изоляторов

Изоляторы относятся к ответственным элементам воздушных линий электропередачи и предназначаются для изоляции проводов линий, находящихся под напряжением, от конструктивных частей опор. Изоляторы воздушных линий называют линейными. Изоляционным материалом изоляторов является стекло или фарфор.

Штыревые изоляторы закрепляются на опорах с помощью штырей и крючьев. Изоляторы этого типа используются на линиях низкого напряжения и высокого до 35 кВ включительно. Эти изоляторы крепятся на крюках и штырях при помощи пакли, смоченной разведенным на олифе суриком. Расчетной нагрузкой для изоляторов этого типа является нагрузка на изгиб.

Подвесные изоляторы закрепляются на опоре с помощью линейной арматуры. Они соединяются в гирлянды изоляторов, состоящие обычно из нескольких сцепленных друг с другом элементов.

Исходными данными для выбора изоляторов при проектировании являются:

- напряжение линии;
- район прохождения линии;
- материал и тип опор;
- нормативные механические нагрузки на изоляторы.

Нормативную механическую нагрузку на изоляторы характеризует коэффициент запаса прочности  $n$ , который является отношением разрушающей нагрузки к нормативной, действующей на изоляторы в

ответствующем режиме.

### 5.4.1 Выбор изоляторов для промежуточных опор

Принимаем к рассмотрению на промежуточных опорах штыревые изоляторы. Максимально допустимая электромеханическая разрушающая нагрузка изоляторов при наибольшей нагрузке и при среднеэксплуатационных условиях:

$$2,5(n_{\Phi} \cdot \gamma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}} + G_{\Gamma}) \leq P, \quad (70)$$

где  $n_{\Phi}$  – число проводов в расщепленной фазе;

$l_{\text{вес}}$  – весовой наибольший пролет ВЛ, м;

$G_{\Gamma}$  – средний вес гирлянды изоляторов, кг;

$P$  – электромеханическая разрушающая нагрузка изолятора, Н.

$$l_{\text{вес}} = 1,25 \cdot l_{\text{габ}} = 1,25 \cdot 61 = 76,25 \text{ м.} \quad (71)$$

Тогда:

$$2,7(n_{\Phi} \cdot \gamma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}} + G_{\Gamma}) = 2,5(1 \cdot 0,1128 \cdot 113,3 \cdot 76,25 + 0) = 2601,5 \text{ Н.} \quad (72)$$

При среднеэксплуатационных условиях:

$$5(n_{\Phi} \cdot \gamma_{\text{п}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}} + G_{\Gamma}) = 2,5(1 \cdot 0,034 \cdot 113,3 \cdot 76,25 + 0) = 1449 \text{ Н.} \quad (73)$$

В аварийном режиме на гирлянды изоляторов действуют весовые нагрузки от проводов и самой гирлянды, а также редуцирование тяжения:

$$\begin{aligned} & 1,8 \sqrt{\left( \frac{n_{\Phi} \cdot \gamma_{\text{п}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\Gamma} \right)^2} + (k_{\text{рд}} \cdot T_{\text{нб}})^2 = \\ & = 1,8 \sqrt{\left( \frac{1 \cdot 0,034 \cdot 113,3 \cdot 76,25}{2} + 350 \right)^2} + (0,4 \cdot 13356)^2 = 9657,5 \text{ Н,} \end{aligned} \quad (74)$$

где  $K_{\text{рд}}$  – коэффициент редукиции;

$T_{\text{нб}} = n_{\Phi} \cdot \sigma \cdot F_{\text{пр}}$  – тяжение.

Вывод: сравнение трех значений нормативных нагрузок показывает, что в данном случае выбор изоляторов нужно произвести по аварийному режиму. Выбираем штыревой изолятор ШС-10Д[5].

Таблица 6 - Характеристики изолятора ШС-10Д

Номинальное напряжение:	20 кВ
Минимальная разрушающая сила, кН:	13 кН
Диаметр штыря крепления изолятора:	22 мм
Масса, кг:	1,9 кг

Вычислим длину пути утечки изоляторов:

$$L = \lambda_3 \cdot U \cdot k = 3 \cdot 10,5 \cdot 1,1 = 34,65 \text{ см}, \quad (75)$$

где  $\lambda_3$  – удельная эффективная длина пути утечки, см/кВ;

$U$  – наибольшее рабочее междуфазное напряжение, кВ;

$k$  – коэффициент использования длины пути утечки.

Согласно [3, п.1.9.14] удельная эффективная длина пути утечки изоляторов должна быть не менее 1,5см/кВ, следовательно, выбранный изолятор удовлетворяет всем требованиям.

#### 5.4.2 Выбор изоляторов для анкерных опор

Согласно [3], на опорах анкерного типа должны применяться подвесные изоляторы для II района по гололеду. Произведем выбор подвесных изоляторов для анкерных опор. Нормативные нагрузки, приложенные к натяжным гирляндам анкерных опор, находятся также при наибольшей нагрузке и при среднеэксплуатационных условиях. Допустимый весовой пролет для анкерных опор принимаем как для промежуточных.

При наибольшей механической нагрузке:

$$2,5 \sqrt{\left( \frac{\gamma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\Gamma} \right)^2 + (\sigma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}})^2} = \quad (76)$$

$$= 1,8 \sqrt{\left( \frac{1 \cdot 0,1128 \cdot 113,3 \cdot 76,25}{2} + 700 \right)^2 + (120 \cdot 113,3)^2} = 33520,45 \text{ Н.}$$

При среднеэксплуатационных условиях:

1) найдем  $l_{\text{пр}} = 0,9 l_{\text{габ}} = 55,24 \text{ м.}$

Примем  $\sigma_{\text{эспл}} = 90 \text{ Н/мм}^2$ .



Тогда при среднеэксплуатационных условиях:

$$6\sqrt{\left(\frac{\gamma_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\Gamma}\right)^2 + (\sigma_{\text{сэ}} \cdot F_{\text{пр}})^2} = \quad (77)$$

$$= 6\sqrt{\left(\frac{1,0,035 \cdot 113,3 \cdot 76,25}{2} + 700\right)^2 + (90 \cdot 113,3)^2} = 60315,4 \text{ Н.}$$

Сравнение двух значений показывает, что при выборе изоляторов для натяжных гирлянд следует ориентироваться на величину нагрузки при среднеэксплуатационных условиях.

Выбираем подвесной стеклянный тарельчатый высоковольтный изолятор ПС-70Е.

Таблица 7 - Технические данные изолятора ПС-70Е

Изолятор	Механическая разрушающая сила, кН	Диаметр тарелки D, мм	Строительная высота H, мм	Длина пути утечки, мм	Масса, кг
ПС-70Е	70	255	127	303	3,5

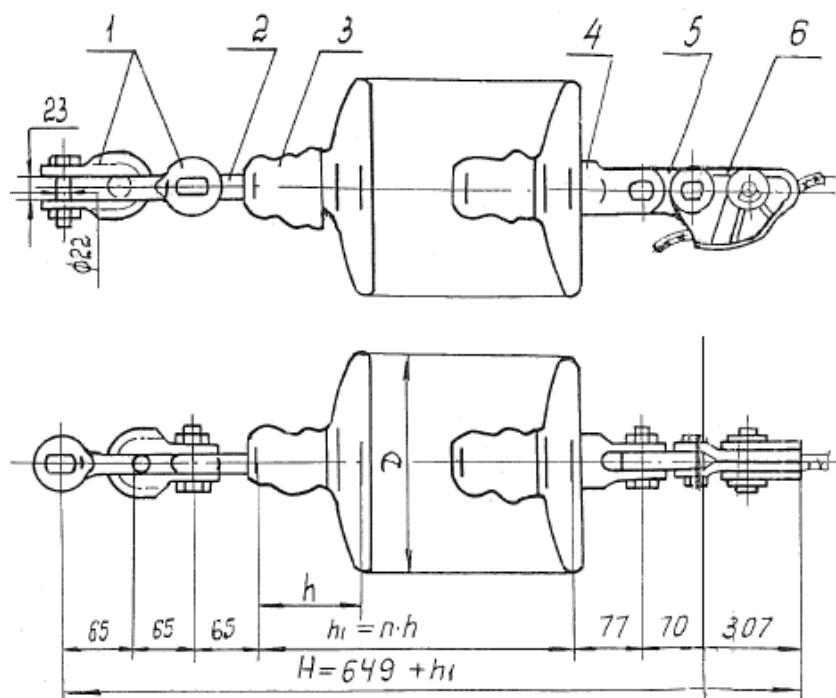


Рисунок 4. Изолятор линейный натяжной стеклянный ПС-70Е

Таблица 8- Линейная арматура изолятора ПС-70Е

Обозначение	Наименование	Кол.	Масса, ед.кг
СК-12-1А	Скоба	2	0,91
СР-12-16	Серьга	1	0,41
	Изолятор		
У2К-7-16	Ушко двух лапчатое	1	0,75
ПР-7-6	Звено промежуточное	1	0,34
НЗ-2-7	Зажим натяжной	1	2,60

Для определения количества изоляторов в гирлянде вычислим длину пути утечки всей конструкции и количество изоляторов в гирлянде:

$$L = \lambda_s \cdot U \cdot k = 3 \cdot 10,5 \cdot 1,1 = 34,65 \text{ см}, \quad (78)$$

$$m = L / L_k = 346,5 / 303 = 1,14, \quad (79)$$

$$\lambda_n = (H \cdot m + 649) \cdot 10^{-3} = (127 \cdot 2 + 649) \cdot 10^{-3} = 0,903 \text{ м}. \quad (80)$$

Вес гирлянды изоляторов с арматурой:

$$G_r = m \cdot 3,5 + 5,9 = 2 \cdot 3,5 + 5,9 = 12,9 \text{ кг}. \quad (81)$$

### 5.5 Построение расстановочного шаблона.

Шаблон для расстановки опор по профилю трассы представляет собой 3 кривые – параболы, расположенные друг над другом со сдвигом по вертикали.

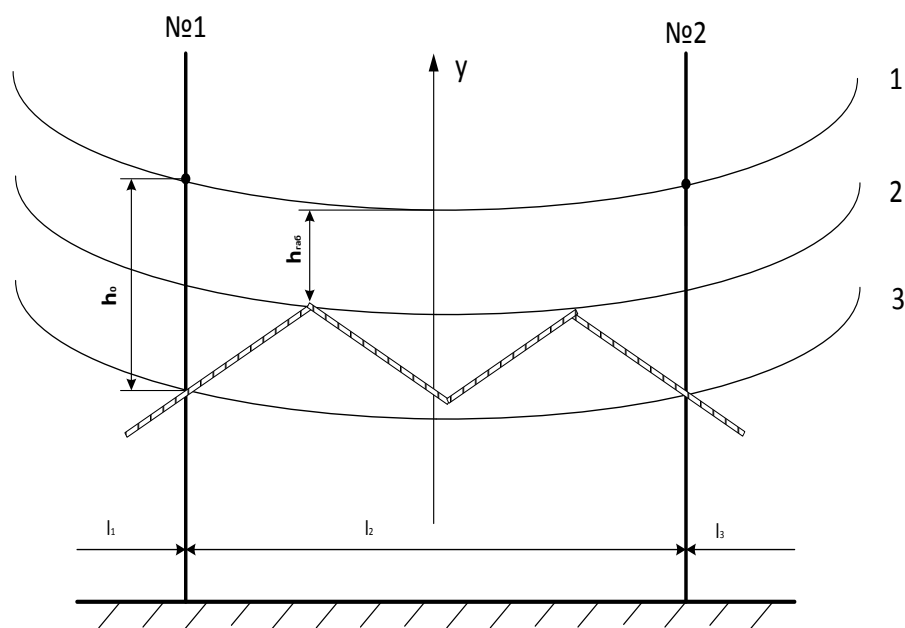


Рисунок 5. Наложение шаблона на профиль трассы

Кривая 1 – кривая максимального провисания провода, находится по формуле:

$$y = \frac{\gamma \cdot x^2}{2 \cdot \sigma} = \frac{\gamma \cdot 10^4}{2 \cdot \sigma} \left( \frac{x}{100} \right)^2 = k_{\text{ш}} \left( \frac{x}{100} \right)^2 \quad (82)$$

где  $k_{\text{ш}}$  – коэффициент шаблона;

$\gamma$  – удельная механическая нагрузка, при которой имеет место наибольшее провисание провода;

$\sigma$  – напряжение, соответствующее габаритному пролету;

$x$  – значение длины габаритного пролета  $(0-0,75)l_{\text{габ}}$ .

$$x = 0,5 \cdot l_{\text{габ}} = 0,5 \cdot 62 = 30,5 \text{ м.} \quad (83)$$

Тогда:

$$y = \frac{0,034 \cdot 30,5^2}{2 \cdot 120} = 0,13 \text{ м.} \quad (84)$$

Кривая 2 – габаритная кривая, служащая для проверки габарита от проводов до земли и пересекаемых инженерных сооружений. При построении сдвигается вниз по вертикали от кривой 1 на расстояние:

$$h_{\text{габ}} = \Gamma + (0,3 - 0,5) = 6 + 0,5 = 6,5 \text{ м,} \quad (85)$$

где  $\Gamma$  – минимально допустимое расстояние до поверхности земли, м.

Кривая 3 – земляная кривая. Ее строят, чтобы правильно накладывать шаблон на профиль трассы без измерения высоты подвеса провода на опорах.

Кривая сдвинута относительно кривой 1 на расстояние:

$$h_0 = H_{\text{тр}}^{\text{нж}} - \lambda = 8,115 - 0 = 8,115 \text{ м.} \quad (86)$$

где  $\lambda$  – длина гирлянды изоляторов, м.

Для построения расстановочного шаблона принимаем масштаб

— по горизонтали – 1 см = 25 м

— по вертикали – 1 см = 5 м

Таблица 9 - Построение расстановочного шаблона

$X$ , см	0	0,368	0,736	1,104	1,473	1,841	2,455
$X$ , м	0	9,208	18,416	27,624	36,833	46,041	61,388
$Y1$ , см	0	0,002	0,009	0,021	0,038	0,059	0,106
$Y2$ , см	-1,3	-1,297	-1,29	-1,278	-1,261	-1,24	-1,193
$Y3$ , см	-1,623	-1,62	-1,613	-1,601	-1,584	-1,563	-1,516

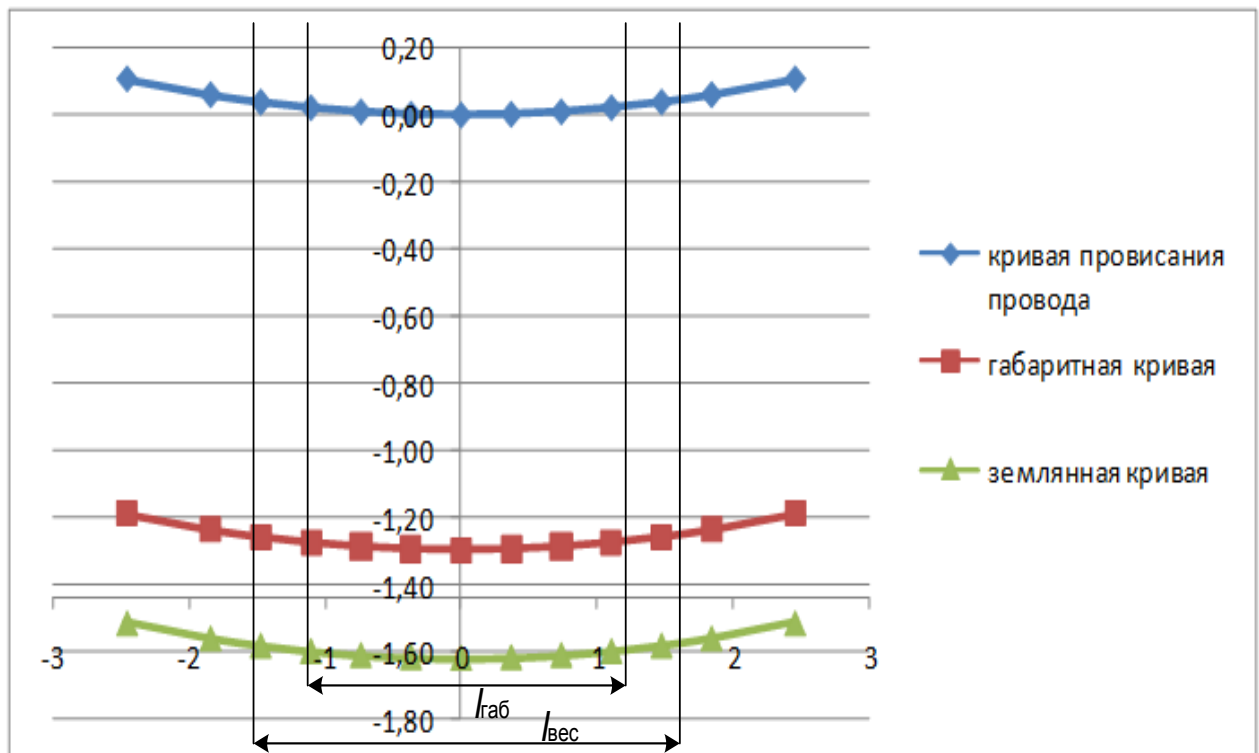


Рисунок 6. Шаблон для расстановки опор по профилю трассы

Расстановка опор по продольному профилю трассы производится следующим образом: шаблон накладывается на профиль трассы так, чтобы кривая 3 пересекала профиль в месте установки первой опоры, а кривая 2 касалась его. При этом ось  $y$  должна находиться в вертикальном положении. Тогда другая точка пересечения кривой 3 с профилем будет соответствовать месту установки первой промежуточной опоры. При таком положении шаблона во всех точках пролета габарит до земли будет не меньше допустимого. Затем шаблон передвигается и аналогичным образом находится положение следующей опоры.

Если длина последнего пролета в конце анкерного участка окажется малой, то её следует увеличить, уменьшая соответственно ряд длин соседних

пролетов и стремясь, чтобы все они были примерно одинаковыми. С помощью шаблона производим дополнительную проверку и убеждаемся, что при перемещении опор габариты остаются не меньше допустимых.

## 5.6 Расчет нагрузки на опоры

Силы, воздействующие на инженерные сооружения, в том числе на опоры и их основания, называются нагрузкам. Простейшим видом нагрузки является собственный вес, который может быть определен с большой точностью. Нагрузки на опоры, возникающие под действием ветра, могут быть определены со значительно меньшей точностью в зависимости от данных наблюдений за определенный период.

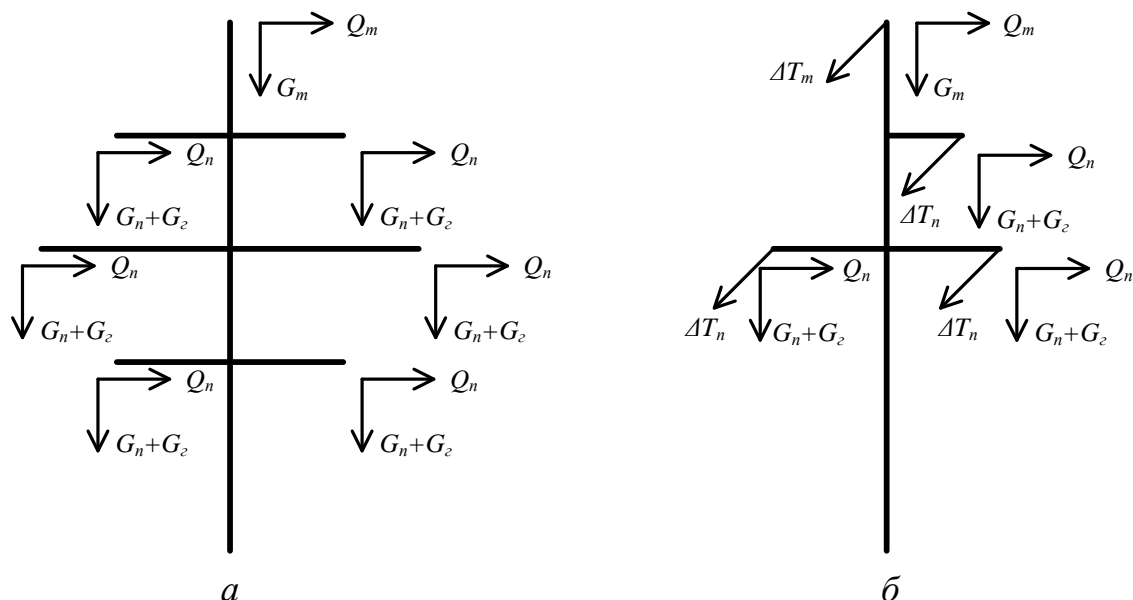


Рисунок 7. Схема нагрузок на опору: а) промежуточная двухцепная; б) анкерная

Расчет опор производится по методу предельных состояний, то есть учитываются состояния, при достижении которых конструкция опоры перестает удовлетворять предъявляемым к ней требованиям по условиям эксплуатации.

Предельные состояния подразделяются на две группы:

— состояние, полностью исключающее возможность дальнейшей эксплуатации конструкции;

— состояние, позволяющее эксплуатацию опоры с некоторыми ограничениями.

Возможность возникновения предельных состояний зависит от ряда факторов:

- механические свойства материалов, из которых изготовлена конструкция, или физические характеристики грунта основания;
- общие условия работы конструкции, условия ее изготовления;
- нагрузка.

Согласно [3] различают три режима, которые могут быть в процессе эксплуатации линий: нормальный, аварийный и монтажный.

Нормальным режимом называется работа линии при необорванных проводах и тросах. При этом режиме работы на опоры и их основания действуют постоянные нагрузки от собственного веса опор, изоляторов, проводов и тросов без гололеда. К постоянным нагрузкам относятся так же нагрузки от тяжения проводов и тросов при среднегодовой температуре и отсутствии ветра и гололеда, передаваемые на опоры некоторых типов.

В нормальном режиме опоры подвергаются так же воздействию кратковременных нагрузок от давления ветра на провода, тросы и опоры, а так же от веса гололеда на провода и тросы. К кратковременным относятся также нагрузки от тяжения проводов и тросов сверх их значения при среднегодовой температуре.

Работа линии в нормальном режиме происходит в течение большей части времени их эксплуатации, поэтому, принимаемые в нормальном режиме сочетания нагрузок называются основными. В расчетах всех опор по нормальному режиму принимаются расчетные нагрузки без каких-либо понижающих коэффициентов.

Аварийным называется режим работы линии при обрыве проводов и тросов. Продолжительность воздействия нагрузок аварийного режима сравнительно невелика, на некоторых линиях обрывы проводов и тросов не наблюдаются за все время эксплуатации. Поэтому в расчетах по аварийному

режиму расчетные нагрузки от веса гололеда и тяжения проводов и тросов умножаются на понижающие коэффициенты сочетаний: 0,8 – для промежуточных опор и их фундаментов; 0,9 – для анкерных опор и их фундаментов.

Монтажным режимом называется работа конструкции в условиях монтажа опор, проводов и тросов. Сочетания этих нагрузок относятся к числу основных. Следует отметить, что в монтажном режиме конструкции могут рассчитываться с учетом временного усиления отдельных элементов или конструкции в целом.

По направлению действия нагрузки можно подразделить на горизонтальные (ветровая нагрузка на конструкцию опоры; ветровая нагрузка на провода и тросы; нагрузки от тяжения проводов и тросов) и вертикальные (собственный вес опоры; вес гирлянд изоляторов; вес проводов и тросов с гололедом и без; монтажные нагрузки).

### 5.6.1 Определение нагрузок на промежуточные опоры типа П10-1

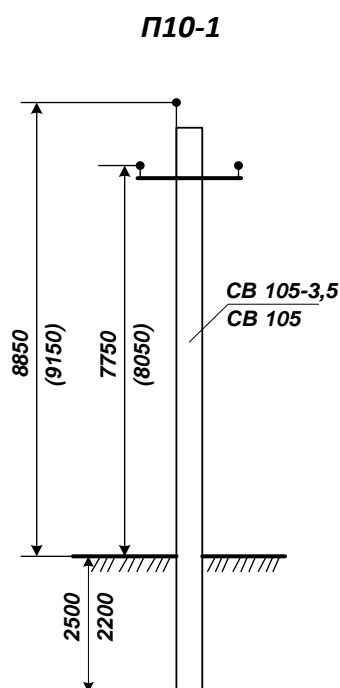


Рисунок 8. Промежуточная железобетонная опора

Определим нормативные и расчетные нагрузки на промежуточную железобетонную опору П10-1 в нормальном режиме работы ВЛ.

Постоянные нагрузки.

— собственный вес опоры [6]:

$$P_{\text{оп}} = m \cdot g = 1175 \cdot 9,8 = 11515 \text{ Н}; \quad (87)$$

— собственный вес изоляторов и траверсы [6]:

$$G_{\text{г.норм}} = (m_{\text{трав}} + m_{\text{из}} + m_{\text{хом}}) \cdot g = (17,2 + 3 \cdot 1,9 + 1,2) \cdot 9,8 = 283,22 \text{ Н}, \quad (88)$$

где  $m_{\text{трав}}$  – масса траверсы, кг;

$m_{\text{из}}$  – масса изолятора, кг;

$m_{\text{хом}}$  – масса хомута, кг;

— нагрузка от собственного веса провода на  $l_{\text{вес}}$  с учетом цепности линии и трехфазной системы проводов:

$$P_{\text{п.норм}} = n_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ф}} \cdot M_{\text{п}} \cdot l_{\text{вес}} = 1 \cdot 3 \cdot 3,77 \cdot 76,74 = 868,57 \text{ Н}, \quad (89)$$

где  $n_{\text{ц}}$  – количество цепей, шт.;

$n_{\text{ф}}$  – количество фаз, шт.;

$M_{\text{п}}$  – вес одного метра провода, Н;

$l_{\text{вес}}$  – весовой пролет, м.

— собственный вес троса на весовой пролет: так как трос при уровне напряжения меньше 35 кВ не применяется, то эта составляющая отсутствует;

— итого по постоянным нормативным нагрузкам:

$$\begin{aligned} G_{\text{норм}\Sigma} &= P_{\text{оп.норм}} + G_{\text{г.норм}} + P_{\text{оп}} + G_{\text{т.норм}} = \\ &= 11515 + 686 + 868,57 + 0 = 13069,57 \text{ Н}. \end{aligned} \quad (90)$$

Определим кратковременные нагрузки:

— нагрузка от давления ветра на провода без гололеда, (ветер направлен перпендикулярно оси линии):

$$P_{\text{вл}} = 1 \cdot 3 \cdot p_{\text{вл}} \cdot l_{\text{вес}} = 1 \cdot 3 \cdot 4,11 \cdot 76,74 = 946,6 \text{ Н}; \quad (91)$$

— нагрузка от давления ветра на трос без гололеда не учитывается, так как грозозащитный трос отсутствует;

— нагрузка от веса гололеда на проводах с учетом цепности линии и трехфазной системы:



$$P_{\text{гл}} = 1 \cdot 3 \cdot p_{\text{гл}} \cdot l_{\text{вес}} = 1 \cdot 3 \cdot 7,3 \cdot 76,74 = 1679,82 \text{ Н}; \quad (92)$$

— нагрузка от веса гололеда на тросе не учитывается, так как грозозащитный трос отсутствует.

— нагрузка от давления ветра на конструкцию опоры:

Ветровая нагрузка для нормальных опор высотой до 50 метров, состоящая из статической и динамической составляющих:

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A, \quad (93)$$

где  $C_x$  — аэродинамический коэффициент, принимаем равным 1,2 (для  $d_n < 20 \text{ мм}$ ) [5];

$A$  — площадь проекции, ограниченная контуром конструкции, ее части или элемента с наветренной стороны на плоскость перпендикулярно ветровому потоку, вычисленная по наружному габариту,  $\text{м}^2$ .

0,28 — ширина у основания опоры, м;

0,165 — ширина верха опоры, м [5];

8,85 м — высота опоры над землей, м.

$$A = ((0,28 + 0,165) / 2) \cdot 8 = 1,78 \text{ м}^2, \quad (94)$$

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A = 0,65 \cdot 500 \cdot 1,1 \cdot 1,78 = 1157. \quad (95)$$

Определим нормативную пульсационную составляющую. Так как опора свободностоящая, одностоечная, железобетонная то по [3]:

$$Q_n^H = 0,8 Q_c^H = 0,8 \cdot 1157 = 925,6 \text{ Н}. \quad (96)$$

Расчетная ветровая нагрузка на конструкцию опоры:

$$Q = (Q_c^H + Q_n^H) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = (1157 + 925,6) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 2290,86 \text{ Н} \quad (97)$$

Строительство линии происходит во втором гололедном районе, по [3], обледенение конструкции не учитываем.

Итого по кратковременным нагрузкам:

$$P_{\text{wn}} + P_{\text{гл}} + Q = 946,6 + 1679,82 + 2290,86 = 4917,3 \text{ Н}. \quad (98)$$

Общая нагрузка на промежуточную опору:

$$P_{\text{проп}} = P_{\text{пост}} + P_{\text{кр}} = 13069,57 + 4917,3 = 17986,86 \text{ Н.} \quad (99)$$

Расчетные нагрузки получают путем умножения нормативных нагрузок на коэффициенты перегрузки [5] в нормальном и аварийном режимах.

— собственный вес опоры, изоляторов, проводов и троса:

$$\begin{aligned} G_{\text{оп.расч}} &= (P_{\text{оп.норм}} + G_{\text{г.норм}} + P_{\text{оп}} + G_{\text{т.норм}}) \cdot n = \\ &= (11515 + 686 + 868,57 + 0) \cdot 1,1 = 14376,53 \text{ Н;} \end{aligned} \quad (100)$$

— нагрузка от веса гололеда на проводах и росах:

$$G_{\text{п.т.гол.расч}} = (P_{\text{гл}} + G_{\text{т.гол.норм}}) \cdot n = (1679,82 + 0) \cdot 2,0 = 3359,64 \text{ Н;} \quad (101)$$

— нагрузка от давления ветра на конструкцию опоры:

$$Q_{\text{п.т.расч}} = ((Q_c^H + Q_n^H) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f) \cdot n = 2290,86 \cdot 1,2 = 2749,03 \text{ Н;} \quad (102)$$

— итого по расчетным нагрузкам:

$$\begin{aligned} G_{\text{расч}\Sigma} &= G_{\text{оп.расч}} + G_{\text{п.т.гол.расч}} + Q_{\text{п.т.расч}} = \\ &= 4376,53 + 3359,64 + 2749,03 = 20485,2 \text{ Н.} \end{aligned} \quad (103)$$

## 5.7 Расчет закрепления свободностоящих одностоечных одноствольных опор

Совокупность инженерных мероприятий по выбору конструкции подземной части опор, обеспечивающей надежность их работы в процессе эксплуатации, называется закреплением опор в грунте. Подземную часть опоры называют фундаментом, а область грунта, воспринимающую давление от фундамента, основанием. Расстояние от подошвы фундамента до поверхности грунта в месте его установки называется глубиной заложения фундамента.

Конструкция фундамента выбирается в соответствии с типом опор, действующей на фундамент нагрузкой, характеристикой грунта.

Для железобетонных опор фундаментом служит низ стойки, который заделывается в грунт.

Принимаем стойку марки СВ-105-3,5. Диаметр стойки составляет 0,28м. Стойку устанавливаем в котлован диаметром 0,4м и глубиной 2,5 метра без ригелей. В этом случае стойка устанавливается в ненарушенный грунт, обладающий значительно более высокими механическими характеристиками, по сравнению с нарушенным грунтом засыпки.

Условием расчета по деформации является неравенство:

$$\beta_0 \leq \beta_n, \quad (104)$$

где  $\beta_n = 0,01$  – нормативный угол отклонения опоры, рад [5].

Для расчета закрепления одностоечных свободностоящих опор по деформациям необходимо определить угол поворота стойки в грунте  $\beta_0$ . Угол поворота вычисляется при действии расчетных нагрузок.

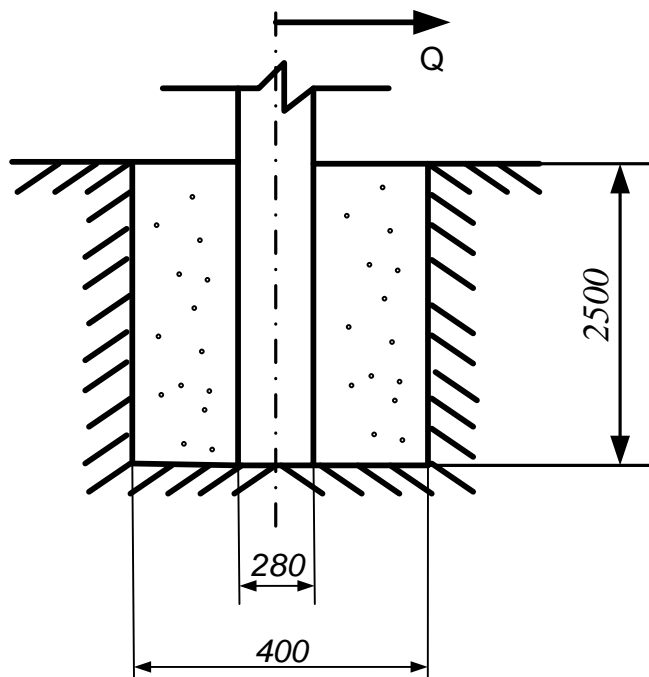


Рисунок 9. Схема для расчета угла поворота

Высота заглубления стойки опоры  $h = 2,5$  м.

Нормативное значение модуля деформации грунта  $E_{\text{норм}} = 25000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$  для суглинков с консистенцией  $J_L = 0,5$  и коэффициентом пористости  $e = 0,55$ . Модуль деформации, сниженный на 20% от нормативной величины  $E = 20000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$ .

Равнодействующая горизонтальная сила равна сумме нагрузок, действующих на опору и рассчитывается на весовой пролет. Одноцепная опора, имеющая одну траверсу, не защищена грозозащитным тросом.

Ветровая нагрузка на провода без гололеда определяется по формуле:

$$P_{вл} = 3 \cdot p_{вл} \cdot l_{век} = 3 \cdot 4,52 \cdot 76 = 1,04 \text{ Н} \cdot 10^3. \quad (105)$$

Нагрузка от собственного веса гирлянд изоляторов и траверсы:

$$G_{г.пр} = n_{г} \cdot n_{из} \cdot m_{из} \cdot 9,8 = 3 \cdot 3 \cdot 1,9 \cdot 9,8 = 0,28 \text{ Н} \cdot 10^3, \quad (106)$$

где  $n_{г}$  – количество гирлянд изоляторов, шт.;

$n_{из}$  – количество изоляторов в гирлянде, шт.;

$m_{из}$  – масса одного изолятора, кг.

Равнодействующая горизонтальная сила:

$$Q = P_{вл} + G_{г.пр} = 1,04 + 0,28 = 1,23 \text{ Н} \cdot 10^3, \quad (107)$$

Расчетный момент, действующий на опору:

$$\begin{aligned} M_{расч} &= p_{вл} \cdot l_{век} \cdot n_{ниж.тр} \cdot H_{ниж.тр} + p_{вл} \cdot l_{век} \cdot n_{верх.тр} \cdot H_{верх.тр} + 0,25 \cdot \frac{1}{2} \cdot P_{к} \cdot H_{оп}^2 = \\ &= 4,52 \cdot 76 \cdot 1 \cdot 8,1 + 4,52 \cdot 76 \cdot 1 \cdot 9,2 + 0,25 \cdot \frac{1}{2} \cdot 126 \cdot 10,5^2 = 7,68 \text{ Н} \cdot 10^3 \cdot \text{м}, \end{aligned} \quad (108)$$

где  $n_{ниж.тр}$  – количество нижних траверс, шт.;

$H_{ниж.тр}$  – высота от уровня земли до нижней траверсы, м;

$n_{верх.тр}$  – количество верхних траверс, шт.;

$H_{верх.тр}$  – высота от уровня земли до верхней траверсы, м;

$P_{к}$  – средняя распределенная ветровая нагрузка, Н/м.

Высота приложения силы определяется по формуле:

$$H = \frac{M_{расч}}{Q} = \frac{7,68}{1,32} = 5,8 \text{ м}, \quad (109)$$

$$\alpha = \frac{H}{h} = \frac{5,8}{2,5} = 2,3 \quad (110)$$

где  $\alpha$  – безразмерный коэффициент.

Безразмерный коэффициент, зависящий от соотношения  $b/h$ :

$$\frac{b}{h} = \frac{0,28}{2,3} = 0,12 \Rightarrow \nu = 7 \quad (111)$$

где  $\nu$  определяется согласно приложения А.

Тогда угол поворота стойки в грунте:

$$\begin{aligned} \beta_0 &= \frac{3 \cdot Q}{4 \cdot E \cdot h^2} \cdot (6 \cdot \alpha + 3) \cdot \nu = \\ &= \frac{3 \cdot 1,32}{4 \cdot 20000 \cdot 2,5^2} \cdot (6 \cdot 2,3 + 3) \cdot 7 = \\ &= 0,00093 < \beta_n = 0,01. \end{aligned} \quad (112)$$

Следовательно, требования расчета опоры по деформации выполняется.

## **6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является технико-экономическое обоснование проектирования воздушной линии электропередачи 10 кВ, предназначенной для обеспечения покрытия растущих нагрузок и усиления электрических связей на напряжении 10кВ. Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в проектирования системы электроснабжения;
- определение затрат проектирования;
- определение сметы проекта;
- расчет стоимости технических средств;
- оценка организационной эффективности

## 6.1 Планирование и структура работ в рамках проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках проекта;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения работ.

Для выполнения проекта формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель и инженер.

В данном разделе составляется перечень этапов и работ в рамках разработки проекта и проводится распределение исполнителей по видам работ.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 10.

Таблица 10 -Перечень работ и оценка времени их выполнения

№ работ	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность, дн.
1	Составление и выдача технического задания	Руководитель, Инженер	1 1
2	Подбор литературы	Инженер	5
3	Ознакомление технической документацией	Инженер	5
4	Календарное планирование работ	Руководитель, Инженер	1 1
5	Описание электрической схемы	Руководитель, Инженер	2 1
6	Выбор промежуточных опор	Инженер	8
7	Выбор изолятор штыревой	Инженер	8
8	Выбор сечения провода	Инженер	8
9	Механический расчет воздушной линии	Руководитель, Инженер	2 15
10		Инженер	15
11	Составление пояснительной записки	Инженер	5
12	Проверка	Руководитель, Инженер	1 2
	Итого	Руководитель Инженер	7 74

На основе таблицы 10 построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта. В таблице 10 приведен календарный план-график с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выпускной работе.

Таблица 11 - Календарный план-график

№ п/п	Перечень выполненных работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ									
			Март		Апрель		Май		Июнь			
			3	1	2	3	1	2	3	1		
1	Составление и выдача технического задания	Руководитель	■									
		Инженер	■									
2	Подбор литературы	Инженер		■								
3	Ознакомление технической документацией	Инженер		■								
4	Календарное планирование работ	Руководитель			■							
		Инженер			■							
5	Описание электрической схемы	Руководитель			■							
		Инженер			■							
6	Выбор промежуточных опор	Инженер			■							
7	Выбор изолятор штыревой	Инженер				■						
8	Выбор сечения провода	Инженер					■					
9	Механический расчет воздушной линии	Руководитель					■					
		Инженер					■	■				
10	Расчет нагрузки на опоры	Инженер						■	■			
15	Составление пояснительной записки	Инженер									■	■
16	Проверка	Руководитель									■	■
		Инженер									■	■

## 6.2 Смета затрат на проект

При планировании бюджета должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета научного исследования используется следующая группировка затрат по статьям:



$$K_{np} = K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о} + K_{проч} + K_{накл}, \quad (113)$$

где:

$K_{mat}$  – материальные затраты;

$K_{ам}$  – затраты на амортизацию;

$K_{з/пл}$  – затраты на заработную плату;

$K_{с.о}$  – затраты на социальные отчисления;

$K_{проч}$  – затраты на прочие расходы;

$K_{накл}$  – накладные расходы.

### 6.2.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость затраты на канцелярские товары.

Материальные затраты составили 2500 рублей.

### 6.2.2 Амортизация

В работе использовалась компьютерная техника, в связи с этим необходимо определить амортизацию от её использования.

В связи с длительностью использования, учитывается стоимость программного обеспечения с помощью амортизации:

$$K_{ам} = \frac{T_{исп}}{T_{кал}} \cdot C_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \quad (114)$$

где  $T_{исп}$  – время использования компьютерной техники;

$T_{кал}$  – календарное время;

$C_{кт}$  – цена компьютерной техники;

$T_{сл}$  – срок службы компьютерной техники.

Амортизация оргтехники обеспечения:

$$K_{Акомп} = \frac{50000 \cdot 83}{5 \cdot 365} = 2273,9 \text{ руб.} \quad (115)$$

### 6.2.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов.

Зарботная плата (научного руководителя, инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{з/пл} = ЗП_{ИНЖ} + ЗП_{н.р}, \quad (116)$$

где  $ЗП_{ИНЖ}$  – заработная плата инженера;

$ЗП_{н.р}$  – заработная плата научного руководителя.

Месячный должностной оклад рассчитывается по следующей формуле:

$$ЗП_{мес} = ЗП_0 \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (117)$$

где  $ЗП_0$  – месячный оклад (НР – ассистент = 17000 руб; инженер 17000руб);

$k_1$  – районный коэффициент для Томска, равный 1,3;

$k_2$  – коэффициент учитывающий отпуск, равный 1,1.

Фактическая заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \quad (118)$$

где  $n^{\phi}$  – фактическое число дней в проекте;

21 – число рабочих дней в месяце.

Месячный должностной оклад инженера:

$$ЗП_M = 17000 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 24310 \text{ руб.} \quad (119)$$

Зарботная плата инженера:

$$ЗП_{ИНЖ} = 24310 / 21 \cdot 74 = 85664 \text{ руб.} \quad (120)$$

Месячный должностной оклад руководителя:

$$ЗП_M = 17000 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 24310 \text{ руб.} \quad (121)$$

Зарботная плата руководителя:

$$ЗП_{н.р} = 24310 / 21 \cdot 7 = 8103 \text{ руб.} \quad (122)$$

Итого по зарплате:

$$K_{з/пл} = 85664 + 8103 = 93767 \text{ руб.} \quad (123)$$

#### 6.2.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$K_{внеб} = k_{внеб} \cdot K_{з/пл} \quad (124)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$K_{внеб} = 0,30 \cdot 93767 = 28130,1 \text{ руб.} \quad (125)$$

#### 6.2.5 Прочие затраты

К прочим затратам относят налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретения и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.п., которые принимаются в размере 10% . Их величина определяется по следующей формуле:

$$K_{проч} = (K_{мат} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о}) \cdot 0,1, \quad (126)$$

где  $K_{мат}$  – материальные затраты;

$K_{ам}$  – затраты на амортизацию;

$K_{з\backslashпл}$  – затраты на заработную плату;

$K_{с.о}$  – затраты на социальные отчисления.

$$K_{проч} = (2500 + 2273,9 + 93767 + 28130,1) \cdot 0,1 = 12667 \text{ руб.} \quad (127)$$

### 6.2.6 Накладные расходы

К накладным расходам относятся расходы, дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования плюс ненормированные расходы: брак, штрафы, пеня, проценты и т.д.:

$$K_{накл} = K_{з\backslashпл} \cdot 2, \quad (128)$$

$$K_{накл} = 93767 \cdot 2 = 187534 \text{ руб.} \quad (129)$$

Для формирования итоговой величины затрат суммируются все ранее рассчитанные затраты по отдельным статьям как в отношении руководителя, так и инженера (дипломника). Определение бюджета затрат на научно-техническое исследование приведено в таблице 12.

Таблица 12 - Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИ	2500
2. Затраты по заработной плате исполнителей темы	93767
3. Отчисления во внебюджетные фонды	28130,1
4. Амортизация	2273,9
5. Прочие расходы	12667
6. Накладные расходы	187534
7. Итого себестоимость разработки	326872

### 6.2.7 Смета затрат на оборудование

Капитальные вложения в проект воздушной линии электропередачи 10 кВ ПС Новокормиловск – ПС Восход; складываются из стоимости

проектирования ВЛ-10кВ, из затрат на монтаж и отладку оборудования из стоимости самого оборудования по выражению:

$$K = K_{\text{проект}} + K_{\text{оборуд}} + K_{\text{монтаж}}, \quad (130)$$

где  $K_{\text{проект}}$  – затраты на выполнение проекта;

$K_{\text{оборуд}}$  – стоимость оборудования и материалов;

$K_{\text{монтаж}}$  – затраты на монтаж и наладку ВЛ.

Таблица 13- Стоимость установки и наладки комплектов ВЛ

Наименование оборудования и материалов	Тип, марка	Единица измерения	Количество	Цена за единицу	Стоимость, руб.
Стойка ж/б L=10,5м	СВ105-5	шт.	14	10 305,62	144278,68
Изолятор штыревой	ШС-70	шт.	36	387,98	13967,28
Изолятор натяжной	ПС-70Е	шт.	6	472,50	2835
Узел крепления укоса ж/б опоры	У-1	шт.	2	717,89	1435,78
Колпачок	К-8	шт.	36	8,22	295,92
Разъединитель	РЛНД 1-10/200 УХЛ1 ПРНЗ-10	шт.	2	9 638,79	19277,58
Траверса	ТС-3	шт.	12	1 439,14	17269,68
Самонесущий изолированный провод	СИП 3*70	км.	68	660	44880
Болт	М12х40	шт.	50	31,43	1571,5
Гайка	М12	шт.	50	190,41	9520,5
Шайба	12 мм	шт.	50	48	2400
Зажим для крепления СИП	Спир.	шт.	36	350	12600
Итого:					270331,92

$K_{\text{проект}} = 316955,7$  руб.

$K_{\text{об}} = 270331,92$  руб.

Монтаж оборудования составляет 20% от стоимости оборудования

Поэтому, стоимость монтажа  $K_{мон} = 270331,92 \cdot 0,2 = 54066,4$  руб.

Суммарные капитальные вложения в проект ВЛ 10кВ равны:

$$K = 326872 + 270331,92 + 54066,4 = 651000 \text{ руб.} \quad (131)$$

### 6.3 Расчет эксплуатационных затрат в ВЛ – 10кВ

Эксплуатационные затраты определяются из следующей формулы:

$$K = K_{ам} + K_{обсл} + K_{пот}, \quad (132)$$

где  $K_{ам}$  – ежегодные амортизационные отчисления, 3,6% от капитальных затрат = 26512,87руб./год;

$K_{обсл}$  – годовые расходы на обслуживание и текущий ремонт электрооборудования, 2% от капитальных затрат = 34867,95руб./год;

$K_{пот}$  – стоимость годовых потерь электроэнергии, руб./год.

Отчисления на амортизацию включают издержки на капитальный ремонт и на накопление средств, необходимых для замены (реновации) изношенного и морально устаревшего оборудования. Отчисления на амортизацию тем выше, чем меньше срок службы оборудования. Отчисления на обслуживание предназначены для поддержания оборудования в рабочем состоянии. Для предотвращения повреждений все элементы сети подвергаются периодическим осмотрам и профилактическим испытаниям. Эти мероприятия финансируются из отчислений на текущий ремонт.

Стоимость годовых потерь активной электроэнергии, кВт·руб/ч:

$$K_{э} = \Delta P \cdot \tau, \quad (133)$$

где  $\Delta P$  – среднегодовые потери активной мощности, кВт;

$\tau = 1,5$ руб.стоимость 1кВт · ч электроэнергии.

Среднее потребление электроэнергии в час и местными жителями 4,1 кВт·ч.

В среднем потребление электроэнергии за год, кВт·ч:

$$\mathcal{E} = P_{\text{ном}} = 4,1 \cdot 8760 = 35916. \quad (134)$$

Так, как нам известно, среднее число фактического потребления электроэнергии потребителями за 1 год, которое составляет 35916 кВт·ч, а также технические потери в электрических сетях составляют 7% от потребленной электроэнергии. Тогда потери электроэнергии после строительства мы рассчитаем согласно формуле, кВт·ч:

$$\Delta P = P \cdot 0,07 = 35916 \cdot 0,07 = 2514,12. \quad (135)$$

Цена потерь энергии рассчитывается по формуле, руб:

$$K_{\mathcal{E}} = \Delta P \cdot \tau = 2514,12 \cdot 1,5 = 3771,18, \quad (136)$$

$$\begin{aligned} K &= K_{\text{ам}} + K_{\text{обсл}} + K_{\text{ном}} = \\ &= 26512,87 + 34867,95 + 35916 = 97296,82. \end{aligned} \quad (137)$$

Результаты расчётов эксплуатационных затрат сводим в таблицу 14.

Таблица 14- Результаты расчетов эксплуатационных затрат

$K_{\text{ам}}$	$K_{\text{обсл}}$	$K_{\text{ном}}$	$K$
26512,87	34867,95	35916	97296,82

В результате выполнения работы рассчитано технико-экономическое обоснование проектирования воздушной линии электропередачи 10 кВ, предназначенной для обеспечения покрытия растущих нагрузок и усиления электрических связей на напряжении 10кВ.

## **7. Социальная ответственность**

### **Введение**

Изучение и решение проблем, связанных с обеспечением здоровых и безопасных условий, в которых протекает труд человека – важная задача.

Комфортные и безопасные условия труда – один из основных факторов, влияющих на производительность служащих.

Выявление возможных причин производственных несчастных случаев, профессиональных заболеваний, аварий, взрывов, пожаров, и разработка мероприятий и требований, направленных на устранение этих причин позволяют создать безопасные и благоприятные условия для труда человека.

В дипломном проекте проводится расчет линий электропередач 10 кВ, а объектом текущего раздела ВКР являются работы, выполняемые в процессе исследования и используемое оборудование.

На рабочем месте должны быть предусмотрены меры защиты от возможного воздействия опасных и вредных факторов производства. Уровни этих факторов не должны превышать предельных значений, оговоренных правовыми, техническими и санитарно-техническими нормами. Эти нормативные документы обязывают к созданию на рабочем месте условий труда, при которых влияние опасных и вредных факторов на работающих либо устранено совсем, либо находится в допустимых пределах.



## **7.1 Производственная безопасность**

### **7.1.1 Вредные производственные факторы**

На предприятии рабочие часто сталкиваются с воздействием физически опасных и вредных производственных факторов. Факторы, возникающие в результате технологического процесса на рабочем месте:

1) Опасные факторы:

- механические травмы;
- поражения электрическим током;
- пожар;

2) Вредные факторы:

- Состояние воздушной среды (запыленность, загазованность)
- Недостаточная освещенность рабочего места
- Шум
- Вибрации
- Электромагнитные излучения
- Статическое электричество
- Тепловое излучение
- Производственный микроклимат

Необходимо определить неблагоприятные производственные факторы, произвести их количественную оценку и ее сопоставления с нормативными требованиями для анализа опасных и вредных факторов и способам улучшений условий труда.

## **7.2. Техника безопасности**

### **7.2.1. Буровые работы**

Площадка для установки бурильной машины должна быть ровной, с достаточно твердой поверхностью. Уклон поверхности площадки не должен превышать величин, указанных в паспорте бурильной установки. Бурильные машины на автомобильном шасси, во избежание самопроизвольного

перемещения, закрепляются инвентарными упорами. Бурение скважин должно проводиться с установкой оградительной системы.

Перед началом работ машинист должен убедиться в отсутствии людей и посторонних предметов в радиусе действия механизмов и дать предупредительный сигнал. Посторонние лица во время проведения бурильных работ должны находиться не ближе 5 м от рабочего органа. Сооружение, ремонт, разборка и передвижка буровых машин производится под наблюдением лица, ответственного за проведение буровых работ. Запрещается проводить бурильные работы при ветре 15 м/с и более, ливне, грозе. Перемещение бурильных машин производится по заранее спланированному участку. Не допускается передвижение бурильных машин с бурильными органами в рабочем положении. Устья пробуренных скважин следует надежно закрывать щитами и заграждениями.

### **7.2.2 Установка опор**

Установка опор должна выполняться с использованием специальных машин, транспортных средств, такелажа, оснастки, инструмента и приспособлений. При установке опор зимой монтажная площадка радиусом не менее полуторной высоты опоры должна быть очищена от снега для обеспечения свободного подхода к опоре и безопасного ведения работ. Производить работы на неочищенной от снега площадке запрещается. Применение крана вместо падающей стрелы в схеме подъема "кран-трактор" допускается лишь при следующих условиях:

- масса поднимаемой опоры не должна превышать грузоподъемности крана при соответствующем вылете стрелы;

- рабочий ход стрелы подъемного крана должен обеспечивать подъем опоры не менее чем на 35-40° (угол подъема устанавливаемой опоры). При установке опоры краном и трактором отцепление крюка от опоры должно производиться лишь после полной передачи тяговых усилий на трактор. Продолжение подъема опоры трактором допускается после

выполнения мероприятий по торможению опоры и отъезда крана. Проезд крана под поднятой опорой запрещается;

— установка опоры одним краном допускается при следующих условиях:

— масса поднимаемой опоры не должна превышать грузоподъемности крана при соответствующем вылете стрелы;

— рабочий ход крюка должен обеспечивать подъем низшей точки основания опоры над землей (фундаментом) не менее чем на 0,5 м.

Строповка одностоечных железобетонных и деревянных опор при подъеме должна производиться выше центра тяжести. До момента поворота стрелы крана (при установке опоры в котлован) комель опоры должен быть поднят на высоту не менее 0,5 м над землей. Направлять опору в котлован следует при помощи ухватов (рогачей), оттяжек и багров. Запрещается выполнять эту работу без указанных приспособлений, руками.

Во время подъема и установки опоры запрещается:

— нагружать комель опоры какими-либо предметами или удерживать его руками для достижения перевеса в сторону комля;

— находиться под опорой, тросами, в зоне возможного их падения, в опасной зоне вблизи грузоподъемных механизмов;

— приближаться к опоре до полного ее подъема и опускания в котлован;

— подниматься на опору до полного ее закрепления;

— расчалки и тросы с установленной опоры разрешается снимать только после ее закрепления.

При установке опор с помощью лебедок и падающей стрелы необходимо соблюдать следующие условия:

— грузоподъемность лебедок должна быть не менее тяговых и тормозных усилий, возникающих при установке опоры;

— якоря для закрепления лебедок должны соответствовать величине и направлению действующих на них усилий;

— пользоваться для торможения барабана лебедки только тормозом.

Руководитель работ обязан следить за тем, чтобы во время подъема опоры машинисты кранов, тракторов и мотористы лебедок находились на своих рабочих местах. Запрещается указанным лицам при временных остановках подъема опоры оставлять свои рабочие места. При подъеме опоры вблизи дорог должны быть приняты меры, чтобы подъемные тросы и расчалки не были повреждены проходящим транспортом.

В зоне подъема опоры на дорогах выставляются сигнальщики. До подъема опоры следует закрепить на ней тормозной трос, блок для опускания стрелы и регулирующие растяжки (если они предусмотрены в схеме установки). Запрещается производить указанные работы в процессе подъема опоры. Для снятия с железобетонной опоры такелажа следует пользоваться подъемной вышкой или полуавтоматическим стропом. При отсутствии подъемной вышки, лестниц и когтей-лазов необходимо до подъема закрепить на опоре веревочную или капроновую лестницу. Конструкция крепления лестниц должна обеспечивать ее спуск с земли. Запрещается использовать стрелу крана для подъема людей на опору с целью снятия такелажа или выполнения других операций. Все работы на опоре должны выполняться только с закреплением предохранительного пояса к опоре. Запрещается крепить к предохранительному поясу конец такелажного троса или веревки при свисании другого конца до земли. Запрещается демонтированные такелажные тросы и приспособления сбрасывать с опоры. Разрешается опускать такелаж и приспособления лишь после ухода людей из опасной зоны. В случае необходимости замены одной из оттяжек следует предварительно установить и надежно закрепить временную оттяжку, только после передачи на нее нагрузки можно приступить к демонтажу соответствующей постоянной оттяжки. При установке опор должна быть обеспечена ясная видимость сигналов. В исключительных случаях при необходимости ведения работ в условиях ограниченной видимости установка опор допускается только под личным руководством руководителя работ,

который обязан выставить необходимое количество сигнальщиков. Запрещается производить подъем опор при ветре 10-12 м/с и выше.

### **7.2.3 Монтаж провода**

Раскатка и натяжение проводов и канатов непосредственно по стальным траверсам и крюкам не допускается. Перед монтажом проводов установленные опоры должны быть тщательно осмотрены и приняты по акту или журналу монтажа опор.

Перед раскаткой барабаны с проводами должны быть прочно установлены на специальных приспособлениях (раскаточные тележки или козлы), оборудованных надежными устройствами для торможения барабана в процессе раскатки. Направление раскатки проводов, особенно по крутым склонам и косоогорам, должно выбираться руководителем работ. При раскатке провода с барабанов с помощью раскаточных приспособлений на трассе раскатки должны выставляться лица, наблюдающие за правильностью раскатки и обеспеченные надежной связью с машинистом раскаточного приспособления.

При обнаружении спадания части витков провода с барабана раскатка его должна быть прекращена. Запрещается поправлять на барабанах витки провода во время его раскатки, а машинисту – покидать кабину раскаточного механизма. Перед раскаткой провода с барабана последние 5-6 витков должны раскатываться вручную, причем раскатанный провод должен быть закреплен к ближайшей опоре.

Запрещается опоясываться концом провода при раскатке и вытяжке проводов вручную, а также надевать конец петель на руку или плечо. Запрещается при раскатке провода и троса оставлять их зацепившимися за пни и другие препятствия, находиться внутри угла зацепившегося провода. Скорость передвижения тягового механизма выбирается в зависимости от рельефа местности и не должна превышать 5 км/ч. Запрещается раскатка проводов с подъемом их на опору при скорости ветра 10-12 м/с и в густом

тумане.

Обрезать провода следует только с помощью соответствующего инструмента (ножовки, тросоруба). Обрубать провода и тросы зубилом запрещается. При обрезке проводов и канатов их концы необходимо обмотать проволокой. Запрещается применять этилированный бензин для промывки концов проводов и соединительных зажимов. не разрешается оставлять без постоянного надзора горящие или тлеющие костры, газовые горелки и т.п.

#### **7.2.4 Натяжка провода**

Работы на установленных опорах следует вести со специальных подъемных механизмов (вышек, гидроподъемников), а при невозможности подъезда к опорам с помощью когтей, лазов и лестниц. После установки лестницы ее необходимо закрепить на опоре во всех опорных точках. При подъеме на опору запрещается поднимать с собой арматуру, оборудование, материалы. Подъем осуществлять при помощи бесконечного каната через блок, установленный на опоре.

К работам на опоре можно приступить только после закрепления цепью предохранительного пояса за опору. При работе на высоте с люльки, телескопической вышки или гидроподъемника строп предохранительного пояса должен быть пристегнут к их ограждению. При подвеске, визировании и закреплении проводов в городах и населенных пунктах на границе рабочей зоны должны быть вывешены предупредительные плакаты и выставлены наблюдающие.

При визировании анкерных пролетов большой протяженности перед натяжением проводов следует заранее оповестить об этом население, а на всех пересекаемых дорогах - выставить наблюдающих. Тяговые механизмы для натяжения проводов следует устанавливать на расстоянии не менее двойной высоты точки закрепления блока и точно по оси провода. Если по условиям местности нельзя выдержать указанные требования, следует

применять отводные блоки, а при необходимости - временно усиливать траверсы опор. При перекладке проводов из раскаточных роликов в зажимы использование корзин подъемных вышек для удержания проводов не допускается.

Запрещается находиться под гирляндами изоляторов, монтажными блоками, проводами, тросами и другими предметами во время их подъема, а также находиться или проходить под местом выполнения термитной сварки. При монтаже и демонтаже воздушных линий большой протяженности провода отдельных смонтированных участков длиной 3 км должны закорачиваться и заземляться. Соединение шлейфов на анкерной опоре должно производиться только по окончании монтажных работ в смежных с этой опорой анкерных пролетах. Шлейфы линии электропередачи напряжением 10 кВ до их соединения должны быть закреплены за провода. Запрещается при приближении грозы и во время грозы работы по монтажу проводов, а также пребывание людей рядом с опорами. При натяжении и во время визирования запрещается находиться под проводами. До начала подъема проводов необходимо проверить надежность закрепления опор, якорей, исправность такелажа. При передаче усилий с тягового механизма на якоря необходимо убедиться в надежности закрепления проводов и только после этого отцеплять тяговый трактор.

Запрещается натяжение проводов при скорости ветра более 10-12 м/с и в густом тумане.

### **7.2.5 Защитное заземление**

Заземление, устраиваемое с целью обеспечения безопасности, представляет собой преднамеренное соединение с землей металлических частей электрической установки, в нормальных условиях не находящихся под напряжением, при помощи заземляющих проводников и заземлителей.

Назначение защитного заземления заключается в создании между металлическими конструкциями или корпусом защищаемого устройства и

землей электрического соединения достаточно малого сопротивления.

Целью устройства защитных заземлений является:

1) в установках с изолированной нейтралью - обеспечение безопасной величины тока, протекающего через тело человека при замыканиях фазы сети на заземленные участки;

2) в установках с заземленной нейтралью - обеспечение возможности автоматического отключения дефектных участков сети при тех же замыканиях.

Согласно [6], в электроустановках напряжением выше 1000 Вв сети с изолированной нейтралью должно быть выполнено защитное заземление, при этом рекомендуется предусматривать устройства автоматического отыскания замыкания на "землю". Защиту от замыканий на "землю" рекомендуется устанавливать с действием на отключение (по всей электрически связанной сети), если это необходимо по условиям безопасности.

Согласно [3], в электроустановках напряжением выше 1кВ сети с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно быть:

$$R = 250 / I, \quad (146)$$

но не более 10 Ом, где  $I$  – расчетный ток замыкания на землю, А.

В качестве расчетного тока принимается в сетях без компенсации емкостных токов - ток замыкания на землю.

Емкостной ток однофазного замыкания на землю в сети 10кВ:

$$I_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (35 \cdot L_K + L_B)}{350} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot (35 \cdot 0 + 6)}{350} = 0,3 \text{кА} \quad (147)$$

Здесь  $L_K$  и  $L_B$  – общая протяжённость кабельных и воздушных линий напряжением 10 кВ.

Сопротивление заземляющего устройства для сети 35/6 кВ составит:



$$R_3 = U_3 / I_3 = 250 / 300 = 0,83 \text{ Ом}, \quad (148)$$

$$R \leq R_3. \quad (149)$$

Повышение устойчивости функционирования объектов в ЧС заключается в заблаговременной разработке и осуществлении комплекса инженерно - технических мероприятий, организационных, экономических и прочих, направленных:

- на предотвращение производственных аварий и катастроф;
- на снижение возможных потерь и разрушений от современных средств поражения, от вторичных факторов и стихийных бедствий;
- на создание условий для восстановления нарушенного производства в минимальные сроки;
- на обеспечение жизнедеятельности населения.

### **7.3 Производственная санитария**

Производственная санитария – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов. Включает в себя комплекс санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий по оздоровлению условий труда. Это создание на рабочих местах нормальной воздушной среды и освещенности, устранения вредного воздействия вибрации и шума, оборудования необходимых санитарно – бытовых помещений. Состояние воздуха рабочей зоны производственных помещений влияет на производительность труда, а при наличии длительных отклонений может привести к профессиональным заболеваниям.

Избыточная запыленность вызывает заболевания органов дыхания, повышенная температура воздуха может привести к тепловому удару, а при длительном воздействии – и к нарушениям в сердечно - сосудистой системе. В цехах с повышенным выделением вредных веществ в воздух рабочей зоны (термические, гальванические, окрасочные цехи) применяют вентиляцию.

Вентиляция обеспечивает чистоту и допустимые параметры воздуха рабочей зоны удалением из помещения загрязненного и нагретого воздуха и подачей в него свежего воздуха.

По направлению движения воздуха вентиляцию разделяют на приточную, вытяжную и приточно-вытяжную, а по месту действия – на общеобменную и местную. При эксплуатации ГПМ на территории предприятий, стройплощадках и т.п., где обычно выполняются работы, требующие только общего наблюдения за ходом производственного процесса (погрузка, разгрузка и т.п.) минимальная освещенность рабочих поверхностей должна быть 10 лк. Если на указанных территориях выполняются работы по монтажу громоздкого оборудования, строительных конструкций и т.п., то минимальная освещенность рабочей поверхности должна быть 30лк. Кроме того должна быть обеспечена подсветка стеллажей по всей их высоте. Для обеспечения наружного освещения открытых площадок предприятий, подкрановых путей, складов используют специальные светильники наружного освещения и прожекторы, установленные на отдельно стоящих столбах и мачтах.

В производственных условиях человек может подвергаться воздействию вибраций. По способу передачи на человека вибрации делят на общие (низкочастотные), передающиеся через опорные поверхности на тело человека, и локальные (высокочастотные), передающиеся через руки человека. Вибрационные болезни лечатся только на ранней стадии, тяжелые формы приводят к инвалидности.

Шум – всякий нежелательный для человека звук. К шуму не относятся сигналы кранов, транспорта и др. звуки необходимые для проведения производственного процесса. Шум вредно действует на организм человека, снижая его производительность, а при длительном воздействии приводит к профессиональным заболеваниям. Шум увеличивает число ошибок в работе, что способствует возникновению травм.

### 7.3.1 Микроклимат

По определению, приведенному в ГОСТ, микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей.

Под оптимальными микроклиматическими условиями понимают такие сочетания параметров микроклимата, которые при длительном воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения механизма терморегуляции.

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005-88 “Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны” и СанПин 2.2.4.584-96 “Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений”.

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) Температура воздуха  $t^{\circ}, C$ ;
- 2) Относительная влажность  $\varphi, \%$ ;
- 3) Скорость движения воздуха  $v, м / с$ ;
- 4) Интенсивность теплового излучения  $I, Вт / м^2$ .

### 7.4 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность – это система организационных и технических мероприятий, направленных на профилактику и ликвидацию пожаров, ограничение их последствий.

При выполнении работ в полевых условиях должны соблюдаться следующие правила пожарной безопасности:

— разрешается разводить костры на расстоянии не менее 50 м от

деревянных сооружений и легковоспламеняющихся материалов (стогов сена и соломы);

— места для костров и огневых работ необходимо окаймлять полосой земли, с которой полностью удалены травяная растительность, лесная подстилка и прочие горючие материалы до минерального слоя (ширина этой полосы должна быть не менее 1 м);

— горящие спички, окурки, огарки электродов, не остывший шлак от термодатчиков необходимо складывать в специальную металлическую емкость (ведро);

— не разрешается оставлять без постоянного надзора горящие или тлеющие костры, газовые горелки и т.п.

Предусматриваемые при проектировании зданий и установок противопожарные мероприятия, прежде всего, зависят от степени пожарной опасности производственного процесса. Согласно Федеральному закону от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования» производства делятся по степени пожарной опасности на 6 категорий: А, Б, В, Г, Д и Е.

А – помещения с температурой вспышки ниже 28;

Б – помещения с температурой вспышки выше 28;

В1 – В4 – пожароопасные помещения;

Г – не горючие, трудногорючие вещества;

Д – не горючие вещества в холодном состоянии.

Комплектование технологического оборудования огнетушителями осуществляется согласно требованиям технических условий (паспортов) на это оборудование или соответствующим правилам пожарной безопасности. Выбор типа и расчет необходимого количества огнетушителей следует производить в зависимости от их огнетушащей способности, предельной площади, класса пожара горючих веществ и материалов в защищаемом помещении или объекте. Огнетушители, отправленные с предприятия на

перезарядку, должны заменяться соответствующим количеством заряженных огнетушителей. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться.

Виды огнетушители :

1) Углекислотный огнетушитель: предназначены для тушения загораний различных веществ и материалов, электроустановок под напряжением до 1000 В, двигателей внутреннего сгорания, горючих жидкостей.

2) Пенный огнетушитель: предназначены для тушения пожаров и загораний твердых веществ и материалов. Кроме щелочных металлов и веществ, горение которых происходит без доступа воздуха.

3) Порошковый огнетушитель: предназначены для тушения пожаров и загораний нефтепродуктов, ЛВЖ и ГЖ, растворителей, твердых веществ, а также электроустановок под напряжением до 1000В.

## **7.5 Экологическая безопасность**

Линии электропередачи (ЛЭП) в отличие от компактных электростанций и подстанций являются достаточно протяженными и следует изучить влияние ЛЭП на окружающую среду более внимательно. Воздушные линии электропередач и подстанции не входят в перечень видов деятельности и объектов, которые представляют повышенную экологическую опасность. Воздушная линия и оборудование подстанций в нормальных и экстремальных условиях эксплуатации не имеют отходов производства и не сопровождаются выбросами твердых, редких или газообразных веществ в окружающую естественную среду, а также не приводят к необратимым или значительным изменениям в атмо-, гидро- и литосферах.

Значительных влияний на грунтовые воды не предполагается. Даже в зонах с относительно высоким уровнем грунтовых вод (возле берегов рек) в состав строительных работ входит лишь рытье неглубоких котлованов (до 3м) под фундаменты металлических опор и бурение буровых скважин (до 4м) для стояков

железобетонных опор. Нужды в значительных объемах откачивания грунтовых вод для осушения котлованов и буровых скважин не будет возникать.

## **7.6 Чрезвычайные ситуации**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) — состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определённой территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций являются сложными и трудоёмкими. Они представляют комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на:

- обеспечение защиты рабочих, служащих и членов их семей и их жизнедеятельности;
- рациональное размещение основных производственных фондов объекта;
- подготовка к работе объекта в чрезвычайной ситуации и выполнение работ по восстановлению объекта;
- подготовка системы управления объекта для решения задач в чрезвычайных ситуациях.

К числу чрезвычайных ситуаций на рассматриваемом предприятии следует отнести перерыв в электроснабжении. Данное предприятие относится к электроприёмникам I и II категории, перерыв в электроснабжении которых недопустим для безаварийного производства.

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

- результаты стихийных бедствий;
- воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижению их физико-математических показателей;
- проектно-производственные дефекты сооружений (ошибки при изыскании и проектировании, низкокачественное выполнение строительных работ,

плохое качество строительных материалов и конструкций, нарушения в технологии изготовления и строительства);

— воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, скорость, высокие температуры, вибрация);

— нарушение правил эксплуатации, сооружений и технологических процессов (вызывающих взрывы котлов, химических веществ, угольной пыли);

— нарушение правил техники безопасности при ведении работ и технологических процессов;

— ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и специалистов и их некомпетентностью и безответственностью и т.д.

Ликвидация последствий ЧС и стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий.

Устойчивость работы в чрезвычайных ситуациях:

Сущность устойчивости работы в ЧС заключается в разработке и заблаговременном проведении комплекса организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на максимальное снижение возможных потерь и разрушений в ЧС.

Под устойчивостью работы объекта понимается способность объекта выпускать установленные виды продукции в объемах и номенклатуре, предусмотренных планами в условиях чрезвычайной ситуации, а также приспособленность объекта в случае повреждения.

Повышение устойчивости функционирования объектов в ЧС заключается в заблаговременной разработке и осуществлении комплекса инженерно - технических мероприятий, организационных, экономических и прочих, направленных:

— на предотвращение производственных аварий и катастроф;

— на снижение возможных потерь и разрушений от современных средств поражения, от вторичных факторов и стихийных бедствий;

— на создание условий для восстановления нарушенного производства в минимальные сроки;

— на обеспечение жизнедеятельности населения.

### **7.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Электромонтерам приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Такие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в Постановлении Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки», Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда».

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций». Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия. Грамотная социальная политика ключ к успеху предприятия, ведь эффективность работы напрямую зависит от эмоционального комфорта и позитивного настроения коллектива. Максимальная безопасность производства и забота о благосостоянии сотрудников были и остаются основными составляющими социальных программ. Ежегодно на социальные программы выделяются солидные средства.



Сюда входит:

- организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей;
- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;
- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;
- пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам;
- выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, приобретению угля на зимний период, а также единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д.

В организационные вопросы обеспечения безопасности труда входит разработка инструкций по работе и обслуживанию электрических аппаратов и оборудования. Проведение обучения работы с оборудованием и проверка знаний.

## **Заключение**

В данной выпускной квалификационной работе была спроектирована воздушная линия 10 кВ, питающей подстанцию ПС Восход.

Для достижения указанной цели были произведены следующие расчеты:

1. Электрический расчет. На основе расчета произведен выбор изолированного провода которым должна быть выполнена ВЛЭП. Произведена проверка выбранного провода по механической прочности, по потере напряжения и т.д.

2. Расчет токов короткого замыкания. По условию расчета были выбраны отключающие аппараты установленные на опорах ВЛ в начале и конце линии.

3. Механический расчет проектируемой ВЛ, где построен шаблон для расстановки опор проектируемой трассе; выполнен выбор типа опор, которые ограничивают пролет и определен габаритный пролет; выбраны изоляторы для комплектования гирлянд, подвешиваемых на промежуточной и анкерной опорах.

4. Рассмотрены финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

5. Так же были рассмотрены вопросы производственной и экологической безопасности.

### Список использованных источников

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов.-3-е изд., перераб и доп. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
2. Справочник по проектированию электроэнергетических сетей под ред. Д.Л. Файбисовича, - изд., перераб. и доп. – М.: НЦ ЭНАС, 2006.– 352 с.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. унив.изд-во, 2011. – 464 с., ил. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов-4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
4. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. – 2 изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, Ленигр. Отд-ние, 1979, 312 с.
5. Гологорский, Справочник по проектированию воздушных линий электропередачи - изд., перераб. и доп. – М.: НЦ ЭНАС, 2005.– 320 с.
6. Белов А.В., Коровин Ю.В., Пахомов Е.И. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах выше 1000 В: Учебное пособие для вузов: Челябинск, 2009. – 108с

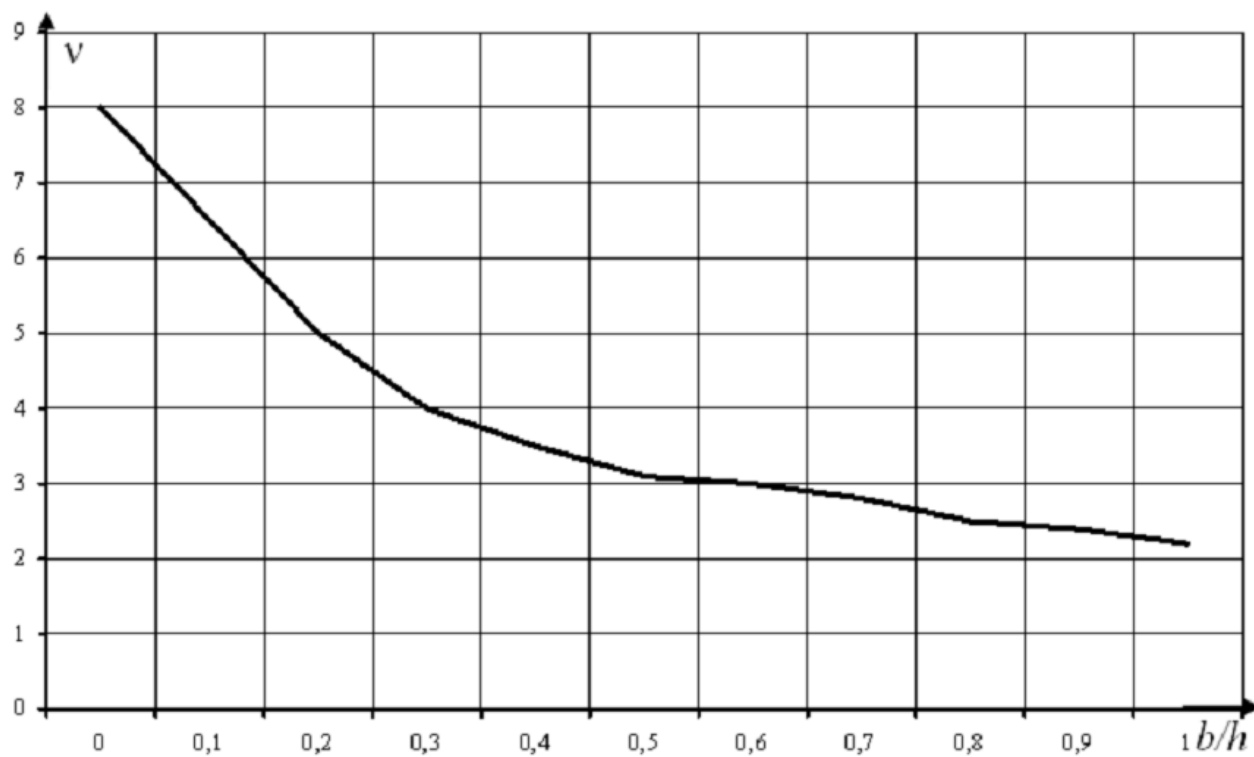
					<i>ФЮРА. 130302.012.ПЗ.</i>			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дат</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>ТажимаевА.А.</i>				<i>Список использованных источников</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>	<i>Козлова Л.Е</i>						90	98
<i>Реценз.</i>	.					<i>ТПУ ИнЭО, гр. 3-5А2Г3</i>		
<i>Консульт.</i>								

7. Белов А.В., Коровин Ю.В., Пахомов Е.И. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах выше 1000 В: Учебное пособие для вузов: Челябинск, 2009. – 108с
8. Государственные элементарные сметные нормы на монтаж оборудования (ГЭСН), сборник 28, 33.
9. Нормативы накладных расходов по видам строительных и монтажных работ.
10. Коршунова Л.А, Кузьмина Н.Г. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. Издательство Томского политехнического университета. Томск – 2012.
11. СТО 56947007- 29.240.01.218-2016. Экологическая безопасность электросетевых объектов. Требования при проектировании, сооружении, реконструкции и ликвидации.
12. Еремин В.Г., Сафронов В.В., Схиртладзе А.Г., Харламов Г.А. Обеспечение безопасности жизнедеятельности в машиностроении. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 2002. – 400 с.
13. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов / Под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.
14. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001.
15. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов (с изменениями от 25.04.2014, утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25.09.2007 № 74).

16. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – Сборник: Правила, нормы, инструкции пожарной безопасности – Н.: Наука, 2003. – 194 с.
17. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. РД 153-34.0-03.301-00. ВППБ 01-02-95.
18. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - СПб.: Изд-во ДЕАН, 2003. – 304 с.
19. ГОСТ Р 22.8.01-96 “Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация чрезвычайных ситуаций. Общие требования”.

Приложение А  
(основное)

График для определения  $v$



**Приложение В  
(основное)**

Изделия и материалы для строительства ВЛ.

Наименование материала	Количество	Цена за ед-цу	Сумма
Провод сталеалюминевый неизолированный АС-95,т	8,3	132861,12	1098512
Опора А10 -1, шт.			
в составе на единицу			
Стойка СВ-105-3,5, шт.	4	8791,25	35165
Траверса ТМ-6, шт.	2	1702	3404
Накладка ОГ-2, шт.	4	163,73	654,92
Накладка ОГ-5, шт.	4	82,75	331
Хомут Х-1, шт.	10	78,39	783,9
Болт Б-5, кг	2	72,66	145,32
Кронштейн У-1, шт.	2	547,36	1094,72
Проводник ЗП-1, шт.	2	1630,43	3260,86
Изолятор ПС-70Е, шт.	12	251,7	3020,4
Изолятор ШС-10Д, шт.	1	175,66	175,66
Колпачок К-6, шт.	1	4,38	4,38
Зажим ПС-2, шт.	2	53,71	107,42
Зажим ПА-2, шт.	2	49,62	99,24
Подвеска натяжная изолирующая	1	831,54	831,54
Звено промежуточное ПРТ-7, шт.	3	304,54	913,62
Скоба СК-7, шт.	3	113,35	340,05
Серьга СРС-7-17, шт.	6	79,52	477,12
Опора УА 10-1, шт.			
в составе на единицу			
Стойка СВ-105-3,5, шт.	26	8791,25	228572,5
Траверса ТМ-6, шт.	9	1702	15318
Накладка ОГ-2, шт.	18	163,73	2947,14
Накладка ОГ-5, шт.	9	82,75	744,75
Хомут Х-1, шт.	27	78,39	2116,53
Болт Б-5, кг	54	72,66	3923,64
Кронштейн У-1, шт.	16	547,36	8757,76
Проводник ЗП-1, шт.	9	1630,43	14673,87
Изолятор ПС-70Е, шт.	108	251,7	27183,6
Колпачок К-6, шт.	9	4,38	39,42
Зажим ПС-2, шт.	9	53,71	483,39
Зажим ПА-2, шт.	9	49,62	446,58
Подвеска натяжная изолирующая	9	831,54	7483,86
Звено промежуточное ПРТ-7, шт.	54	304,54	16445,16
Скоба СК-7, шт.	54	113,35	6120,9
Серьга СРС-7-17, шт.	108	79,52	8588,16
Опора П 10-1			
в составе на единицу			
Стойка СВ-105-3,5, шт.	89	8791,25	782421,3
Траверса ТМ-6, шт.	89	1702	151478

Накладка ОГ-5, шт.	89	82,75	7364,75
Хомут Х-1, шт.	89	78,39	6976,71
Изолятор ШС-10Д, шт.	280	251,7	70476
Колпачок К-6, шт.	280	4,38	1226,4
Зажим ПС-2, шт.	89	53,71	4780,19
Устройство КРМ-1 в составе на единицу	2	785,89	1571,78
Кронштейн РА-1, шт.	2	899,92	1799,84
Кронштейн РА-2, шт.	2	190,61	381,22
Вал привода РА-3, шт.	4	870,06	3480,24
Кронштейн РА-4, шт.	2	133,78	267,56
Кронштейн Р-2, шт.	2	190,61	381,22
Кронштейн КМ-1, шт.	2	190	380
Кронштейн КМ-2, шт.	2	203,62	407,24
Скоба КМ-3, шт.	2	107,41	214,82
Хомут Х-7, шт.	2	48,12	96,24
Хомут Х-8, шт.	2	53,32	106,64
Проводник ЗП-1, шт.	2	1630,43	3260,86
Круг 10, т	0	32626,25	326,2625
Изолятор ШС-10Д, шт.	2	251,7	503,4
Колпачок К-6, шт.	2	4,38	8,76
Зажим ПС-2, шт.	8	53,71	429,68
Зажим ПА-2, шт.	8	49,62	396,96
Разъединитель РЛНД-1-10/200 УХЛ1 с прив. ПРНЗ-10, шт.	2	8300	16600
Ограничитель перенапряжений ОПН- 10/12-10/250 (I), шт.	6	2382,5	14295
Зажим аппаратный А1А, шт.	6	270	1620
Наконечник 7-8, шт.	6	64,9	389,4
Провод заземляющий медный гибкий МГГ, т	0	61403,75	307,0188
Болт М12х40, кг	1	65,94	65,94
Болт М8х60, кг	1	67,47	67,47
Гайка М12, кг	0,5	85,31	42,655
Гайка М8, кг	0,5	80,5	40,25
Шайба М12, кг	0,3	93,21	27,963
Шайба М8, кг	0,3	93,21	27,963
Шайба пружинная 8Н, кг	0,1	90	9
Зажим аппаратный А2А, шт.	6	270	1620
Заземлитель ЭС15исп.2, шт.			
в составе на единицу			
стальная полоса 5х40, т	0	28600	858
сталь круглая d=18мм (L=5м), т	0,1	31037,5	1551,875
ИТОГО			2569,425
Заготовительно-складские (2%)			51,38849
ИТОГО			2620,813
Транспортные расходы (4,6%)			120,5574
ИТОГО			2741,371
Непредвиденные расходы (6%)			164,482
ВСЕГО			2905,853





**Раздел 1. Монтаж ВЛ-10кВ**

1.	Е33-103-01 Установка железобетонных опор для ВЛ 0,38; 6-10кВ /с траверсами/, опора	89	<u>638,19</u> 210,60	<u>365,34</u> 102,50	56 798,91	18 743,40	<u>32 515,26</u> 9 122,50	<u>1,27</u> 0,4	<u>113,03</u> 35,6
2.	Е33-103-02 Установка одностоечных железобетонных опор с одним подкосом ВЛ 0,38; 6- 10 /с траверсами/, опора	2	<u>1 312,8</u> 409,96	<u>827,95</u> 228,75	2 625,56	819,92	<u>1 655,90</u> 457,50	<u>2,49</u> 0,95	<u>4,98</u> 1,9
3.	Е33-103-03 Установка одностоечных железобетонных опор с двумя подкосами ВЛ 0,38; 6-10 /с траверсами/, опора	9	<u>2 012</u> 614,02	<u>1 325,9</u> 365,40	18 107,91	5 526,18	<u>11 933,10</u> 3 288,60	<u>3,74</u> 1,51	<u>33,66</u> 13,59
4.	Е33-109-6 Подвеска проводов ВЛ 6- 10кВ/в 3 провода при 16 опорах на 1км/ в населенной местности с помощью механизмов сечением проводов свыше 35мм <sup>2</sup> , 1км	6,8	<u>17 266</u> 3 809,5	<u>12 940</u> 2 668,5	117 408,05	25 904,74	<u>87 991,52</u> 18 145,53	<u>21,3</u> 9,45	<u>144,57</u> 64,26
ИТОГО ПО СМЕТЕ					194 940,43	50 994,24	<u>134 095,78</u> 31 014,13		<u>296,24</u> 115,35

РАСЧЕТ СТОИМОСТИ РАБОТ В ТЕКУЩИХ ЦЕНАХ (апрель, 2016 года)						411,59
1.	ФОТ основных рабочих		$296,238 \times 24\,288 / 165,5 =$		<b>43 474,49</b>	
2.	Эксплуатация машин и механизмов		$134095,78 \times 4,801 =$		<b>643 793,86</b>	
4.	Стоимость материалов		по расчету		<b>2 905 853,00</b>	
5.	Накладные расходы		$411,588 \times 24\,288 / 165,5 \times 0,95 \times 0,85 =$		<b>48 775,19</b>	
6.	Сметная прибыль		$411,588 \times 24\,288 / 165,5 \times 0,50 \times 0,80 =$		<b>24 161,09</b>	
<b>Итого по смете:</b>					<b>3 666 057,63</b>	
<b>НДС 18%</b>					<b>659 890,37</b>	
<b>ВСЕГО ПО СМЕТЕ:</b>					<b>4 325 948,00</b>	

Составил:

\_\_\_\_\_

*(должность, подпись, Ф.И.О)*

Объемы работ:

\_\_\_\_\_

*(должность, подпись, Ф.И.О)*

\_\_\_\_\_

*(должность, подпись, Ф.И.О)*

