

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроэнергетические системы и сети

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Проектирование воздушной линии электропередачи 220 кВ Комсомольская – Ванино УДК 621.315.1.001.6 (571.61)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Г1	Кулыгин Вадим Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Носов Г.В.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент школы инженерного предпринимательства	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Ю.А.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ОК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Уметь формулировать задачи в области <i>релейной защиты и автоматики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-3, ПК-6, ПК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Уметь проектировать <i>противоаварийную автоматику, релейную защиту</i> .	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-8, ПК-9–14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния релейной защиты и противоаварийной автоматики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-6, ПК-38–44, ПК-51), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-14, ПК-16, ПК-20–21, ПК-37), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Иметь практические знания принципов и технологий релейной защиты и противоаварийной автоматики отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-18, ПК-23–28, ПК-30, ПК-37, ПК-45, ПК-46–51), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-10, ОК-14, ПК-14, ПК-20, ПК-28, ПК-29, ПК-31), <i>CDIO Syllabus</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>
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-11, ОК-12, ОК-15, ПК-1, ПК-10, ПК-

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики</i> .	19, ПК-26), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-7, ПК-32, ПК-34), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-7, ОК-9, ПК-4, ПК-35), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-5, ПК-21, ПК-22, ПК-36), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-10, ОК-13, ОК-16, ПК-31, ПК-33), <i>CDIO Syllabus</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»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроэнергетические системы и сети

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП 13.03.02

\_\_\_\_\_ Шестакова В.В.

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

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3Г1	Кулыгин Вадим Александрович

Тема работы:

Проектирование воздушной линии электропередачи 220 кВ Комсомольская – Ванино	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№590/С от 01.02.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i></p>	<p>Проект ВЛ 220 кВ «Комсомольская – Ванино»                  В качестве исходных данных приняты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• параметры электрической сети;</li> <li>• мощность нагрузки;</li> <li>• Схема электрических соединений Района размещения ВЛ 220 кВ «Комсомольская – Ванино»</li> <li>• характеристика местности.</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Анализ литературы, описание объекта, цели и постановка задач исследования</li> <li>2) Объект и метод исследования</li> <li>3) Механический расчет воздушной линии</li> <li>4) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>5) Социальная ответственность</li> </ol>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема электрических соединений Района размещения ВЛ 220 кВ «Комсомольская – Ванино»
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Амелькович Юлия Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Калмыкова Екатерина Юрьевна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	12.02.18
---	----------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Носов Г.В.	к.т.н.		12.02.18

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Г1	Кулыгин Вадим Александрович		12.02.18

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5А3Г1	Кулыгин Вадим Александрович

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Электрические сети и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Проект выполняется на базе ТПУ, количество участников проекта – 2 человека.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>ГОСТ 14.322-83, ГОСТ Р 51541-99</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>страховые взносы во внебюджетные фонды составляют 30% от ФОТ.</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	1. <i>Планирование проектных работ;</i> 2. <i>Смета затрат на проектирование;</i> 3. <i>Затраты на строительство;</i> 4. <i>Экономическая эффективность</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. <i>Бюджет проекта</i>
--------------------------

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент школы инженерного предпринимательства	Калмыкова Е. Ю.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5А3Г1	Кулыгин Вадим Александрович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5А3Г1	Кулыгин Вадим Александрович

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Электрические сети и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Объект раздела: характеристика работ, операций, оборудования, условий выполнения рассматриваемого техпроцесса.</p> <p>– Обеспечение безопасности для выявленных опасных факторов: нормативные требования, которым удовлетворяет принятое к использованию оборудование и инструмент. Технические устройства обеспечения этих требований, ссылки на НТД.</p>
---	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><i>1. Производственная безопасность</i></p> <p><i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>Перечень опасных факторов, вредных факторов при выполнении работ. источником которых является выбранное оборудование и технический процесс.</p> <p>Обеспечение санитарно-гигиенических условий на рабочих местах и обеспечение требований нормативных документов к выявленным вредным факторам. Технические устройства обеспечения этих требований.</p>
<p><i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаро- и взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>Обеспечение безопасности при чрезвычайной ситуации, как наиболее вероятной – пожаре. Категория помещения, средства тушения.</p>
<p><i>2. Экологическая безопасность:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической</li> </ul>	<p>Степень воздействия на окружающую среду.</p>

<i>безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</i>	
<p>3. <i>Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>перечень возможных ЧС на объекте;</i></li> <li>– <i>выбор наиболее типичной ЧС;</i></li> <li>– <i>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</i></li> <li>– <i>разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</i></li> <li>– <i>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i></li> </ul>	
<p>4. <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i></li> <li>– <i>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</i></li> </ul>	Ссылки на правовые нормы, и нормы организационной защиты

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Ю.А.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Г1	Кулыгин Вадим Александрович		



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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроэнергетические системы и сети

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.03.18	Анализ литературы, описание объекта, цели и постановка задач исследования	25
02.04.18	Объект и метод исследования	25
23.04.18.	Механический расчет воздушной линии	30
22.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
25.05.18	Социальная ответственность	10
		100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Носов Г.В.	к.т.н.		12.02.18

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		13.02.18

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 116 страниц, 3 рисунка, 24 таблиц, 36 источника, 11 приложений.

**Ключевые слова:** воздушная линия, подстанция, энергетическая система, энергоузел, механический расчет ВЛ.

**Объект исследования:** одноцепная 220 кВ «Комсомольская–Ванино».

В процессе работы проводились расчеты по выбору: сечения провода; грозотроса; изоляторов; арматуры и комплектование гирлянд; промежуточных и анкерных опор; фундаментов.

Экономическая эффективность/значимость работы определена с помощью расчета срока окупаемости проекта, также произведен расчет стоимости покупки материалов для строительства ВЛ, разработки и реализации проекта.

**Область применения:** результаты данной работы могут быть использованы для осуществления строительства линии электропередач данного класса напряжения, с похожими климатическими условиями и местностью.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы были использованы программные комплексы: Microsoft Office Word 2010, Microsoft Office Excel 2010, Microsoft Visio 2010, AutoCAD 2016.

**Воздушная линия** – электроустановка, предназначенная для передачи электроэнергии по проводам, расположенных на открытом воздухе и прикрепленные при помощи изолированных конструкций и арматуры к опорам, несущим конструкциям, кронштейнам и стойкам на инженерных сооружениях.

**Габаритный пролет** – расстояние от низшей точки кривой провисания провода до земли, до инженерных сооружений, до поверхности воды.

**Длина пути утечки изолятора** – кратчайшее расстояние или сумма кратчайших расстояний по контуру наружной изоляционной поверхности между частями, находящимися под разными электрическими потенциалами.

**Линия электропередачи** – электроустановка, состоящая из проводов, кабелей, изолирующих элементов, несущих конструкций и предназначенная для передачи электроэнергии между двумя пунктами электроэнергетической системы с возможным промежуточным отбором.

**Подстанция** – электроустановка, предназначенная для приема, преобразования и распределения электрической энергии, состоящая из трансформаторного оборудования или других преобразователей энергии, устройств распределения, управления и вспомогательных устройств.

**Стрела провисания провода или троса** – расстояние от низшей точки кривой провисания провода или троса до прямой, которая соединяет соответствующие точки подвеса.

					<i>ФЮРА.13.03.02.007 ПЗ</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Кулыгин В.А.			Определения	Лит.	Лист	Листов
Руков.		Носов Г.В.					11	116
						<i>ТПУ ИнЭО Гр. 3-5А2ГЗ</i>		11

**ВЛ** – воздушная линия;

**ГРЭС** – государственная районная электростанция;

**ЛЭП** – линия электропередачи;

**ОЭС** – объединенная энергосистема;

**ПС** – подстанция;

**ЭС** – энергосистема;

**ЭУ** – энергоузел.

					<i>ФЮРА.13.03.02.007 ПЗ</i>			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Обозначения и сокращения	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кулыгин В.А.					12	116
Руков.		Носов Г.В.						
						<i>ТПУ ИнЭО Гр. 3-5А3Г1</i>		12

## Оглавление

Введение.....	16
1.Объект и методы исследования.....	18
1.1. Выбор сечения провода воздушной линии 220кВ.....	20
1.1.1. Проверка выбранного сечения по нагреву.....	21
2. Механический расчет воздушной линии.....	22
2.1.Исходные данные для проектирования.....	22
2.2.Определение механических нагрузок на провод от внешних воздействий .....	22
2.2.1. Постоянно действующая и удельная нагрузка.....	22
2.2.2. Нормативная временно действующая нагрузка от гололеда.....	23
2.2.3. Нормативная временно действующая нагрузка от ветрового давления без гололеда.....	25
2.2.4.Нормативная временно действующая нагрузка от ветрового давления с гололедом.....	26
2.2.5.Расчетная гололедная нагрузка.....	27
2.2.6.Расчётная нагрузка от давления ветра без гололеда.....	28
2.2.7.Расчётная нагрузка от давления ветра с гололедом.....	28
2.2.8.Результирующие нагрузки.....	29
2.3.Определение физико-механических характеристик провода.....	30
2.3.1.Определение критических длин пролета графическим методом.....	30
2.3.2. Определение критических длин пролета аналитическим методом.....	34
2.4.Определение критической температуры и габаритного пролета.....	35
2.5.Выбор изоляторов, арматуры и комплектование гирлянд.....	37
2.5.1. Подвесные изоляторы для промежуточных опор.....	37
2.5.2. Натяжные изоляторы для анкерных опор.....	41
2.6.Выбор линейной арматуры при проектировании ВЛ электропередачи	42
2.6.1. Выбор линейной арматуры для промежуточной опоры.....	43
2.6.2. Выбор линейной арматуры для анкерной опоры.....	43
2.7.Построение шаблона для расстановки промежуточных опор.....	43

2.8.Расчет грозозащитного троса для промежуточных опор.....	47
2.8.1. Нагрузка от собственного веса троса.....	48
2.8.2. Временно действующая нагрузка от массы гололедных отложений	48
2.8.3. Горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос, без гололеда.....	49
2.8.4. Горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос с гололедом.....	50
2.8.5. Результирующие нагрузки.....	50
2.8.6. Расчет грозозащитного троса.....	51
2.9.Расчет грозозащитного троса для анкерных опор.....	55
2.9.1. Нагрузка от собственного веса троса.....	56
2.9.2.Временно действующая нагрузка от массы гололедных отложений	56
2.9.3.Горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос, без гололеда.....	56
2.9.4.Горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос с гололедом.....	57
2.9.5.Результирующие нагрузки.....	58
2.9.6.Расчет грозозащитного троса.....	58
2.10.Определение нагрузок, действующих на фундамент опоры.....	61
2.10.1.Нагрузки, действующие на промежуточную опору.....	62
2.10.2.Нагрузки, действующие на анкерную опору.....	66
2.11.Расчет грибовидного фундамента-подножника.....	69
2.11.1.Расчет грибовидного фундамента для промежуточной опоры.....	69
2.11.2.Расчет грибовидного фундамента для анкерной опоры.....	73
3.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	77
3.1.Перечень работ и оценка времени их выполнения.....	77
3.2.Смета затрат на проект.....	78
3.2.1. Затраты на амортизацию компьютерной техники.....	79
3.2.2. Заработная плата исполнителей.....	80
3.2.3. Страховые взносы во внебюджетные фонды 30%.....	81
3.2.4. Прочие затраты.....	81
3.2.5. Накладные расходы.....	81
3.2.6. Формирование сметы затрат научно-исследовательского проекта.....	82
3.3. Расчет капиталовложений на реализацию проекта.....	82

3.4. Экономическая эффективность проекта.....	84
4. Социальная ответственность.....	88
4.1. Анализ вредных и опасных факторов.....	88
4.2. Защита от электромагнитного поля.....	89
4.3. Освещение.....	91
4.4. Защита от акустического шума.....	91
4.5. Параметры микроклимата.....	92
4.6. Защита от поражения электрическим током.....	93
4.7. Экологическая безопасность.....	96
4.8. Чрезвычайные ситуации.....	97
4.9. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	98
Заключение.....	100
Литература.....	102
Приложение А – Схема электрических соединений Района размещения ВЛ 220 кВ «Комсомольская – Ванино».....	106
Приложение Б – Чертеж и характеристика опоры П220–3.....	107
Приложение В – Расчет уравнения состояния провода, подвешенного на промежуточной опоре, и действии максимальной удельной нагрузки.....	108
Приложение Г – Расчет уравнения состояния провода, подвешенного на промежуточной опоре, при воздействии наименьшей температуры окружающей среды.....	109
Приложение Д – Чертеж и технические данные изолятора ПС – 70Е.....	110
Приложение Е – Чертеж и технические данные изолятора ПС – 160Д.....	111
Приложение Ж – Линейные арматуры изоляторов.....	112
Приложение З – Чертеж и характеристика опоры У220-1.....	113
Приложение И – Технические данные грозотроса марки МЗ-11-В-ОЖ-Н-Р .....	114
Приложение К – Результаты расчетов нагрузок на трос анкерной опоры	115
Приложение Л – Технические данные фундамента.....	116

## Введение

Строительство воздушной линии электропередач 220 кВ Комсомольская-Ванино необходимо:

- для развития Единой национальной электрической сети России;
- для надежного электроснабжения бытовых и промышленных потребителей Ванинского района Хабаровского края;
- так же в перспективе планируется строительство угольного терминала для которого необходима дополнительная мощность с единой энергосистемы.

Изношенность существующей линии электропередач определена в ходе эксплуатации и составляет 70%.

Регион строительства ВЛ является не освоенным, приравненным к условиям Крайнего Севера.

Общее направление трассы ВЛ юго-восточное.

Перед началом провидения строительства предусматривается организация сквозного проезда вдоль трассы ВЛ, путем вырубке леса с корчевкой пней; строительства временных проезда через водотоки, устройства лежневых дорог.

Основные лесообразующие породы на данном участке : береза, лиственница.

В период производства строительных работ следует учитывать, что техническое вмешательство в природную среду, а в частности нарушение естественного сложения грунтов приводит к изменению их влажности, физико-механических свойств, вызывает развитие и активизацию разнообразных инженерно-геодезических процессов (более глубокое сезонное промерзание грунтов, повышение степени их пучения, заболачивание и др.), оказывающей отрицательное влияние на устойчивость

					<i>ФЮРА.13.03.02.007 ПЗ</i>			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Кулыгин В.А.			Введение	Лит.	Лист	Листов
Руков.		Носов Г.В.					16	116
						<i>ТПУ ИнЭО 16 Гр. 3-5АЗГ1</i>		



инженерных сооружений. В связи с этим рекомендуется:

- не допускать длительного простоя открытых котлованов под фундаментами (особенно в зимний период) и их замачивание атмосферными и техногенными водами;

- предусмотреть мероприятия по отводу поверхностных вод в случае их появления в весенне-осенний период;

- восстановить почвенно-растительный покров по завершению строительных работ посевом многолетних трав.

В рамках данной работы необходимо создать проект строительства ВЛ 220 кВ «Комсомольская – Ванино» протяжённостью 54 км.

## 1. Объект и метод исследования

Объектом исследования является проектирование воздушной линии электропередач 220 кВ Комсомольская – Ванино.

На сегодняшний день электрификация энергоузла Ванино – Совгаванская Гавань осуществляется от Майской ГРЭС и от Единой энергосистемы Хабаровского края по одноцепной линии электропередач 220 кВ ПС Комсомольская – ПС Селихино – ПС Уктур – ПС Высокогорная – ПС Ванино.

В энергосистеме Хабаровского края Майская ГРЭС, установленной мощности 90,2 МВт – одна из «старейших» электростанций.

Состояние оборудования на электростанции – удовлетворительное, но срок достижения паркового ресурса паровых турбин уже прошел, индивидуальный ресурс для них не определен.

Срок достижения паркового ресурса газовых турбин наступит за пределами 2020 года.

В летний период Майская ГРЭС отключена или работает один турбоагрегат.

На Майской ГРЭС по условиям экономической эффективности выработка электроэнергии производится в основном на паротурбинном оборудовании более 95% от общей выработки электроэнергии на электростанции. Менее 5% выработки получают от газотурбинного и дизельного оборудования в основном из-за высокой стоимости дизельного топлива.

Схема внешнего электроснабжения рассматриваемого энергоузла на сегодняшний день не обладает достаточной степенью надежности по следующим причинам:

– исчерпан нормальный срок эксплуатации и пропускная способность

					<i>ФЮРА.13.03.02.007 ПЗ</i>			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Объект и метод  исследования	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кулыгин В.А.					18	116
Руков.		Носов Г.В.						
						<i>ТПУ ИнЭО<sup>18</sup> Гр. 3-5А3Г1</i>		

значительной части сетей 35 кВ, что является сдерживающим фактором для дальнейшего развития энергоузла;

– связь Ванино – Советско – гаванского энергоузла с энергосистемой ненадежна, пропускную способность которой ограничена по следующим причинам:

1) Не обеспечивается электроснабжение всего энергоузла от ПС 220 кВ Ванино из-за отставания сооружений сети 110 кВ – ВЛ 110кВ от ПС Ванино в район города Советская Гавань с ПС 110/35/10 Ороча

2) Величина мощности передаваемой от ПС Ванино в сети 35кВ энергоузла, ограничена также апропускной способностью ВЛ 35кВ Ванино – Тишкино.

3) При отключении в послеаварийных и ремонтных режимах единственной ВЛ 220 кВ, связывающей ЭУ с энергосистемой, возникает необходимость в пуске неэкономичного газотурбинного оборудования Майской ГРЭС, пропускная способность схемы мощность которой практически исчерпана.

Для повышения надежности энергоснабжения потребителей и увеличения передачи мощности в ЭУ из энергосистемы требуется:

– Строительство второй воздушной линии электропередач 220 кВ Комсомольская – Ванино, связывающей ЭУ с энергосистемой.

– Создание в энергоузле сети 110 кВ, связывающих ПС 220 кВ Ванино с узловой ПС Ороча в районе города Советская Гавань.

– Усиление действующих сетей 35 кВ с увеличением трансформаторной мощности.

## 1.1. Выбор сечения провода воздушной линии 220 кВ

В качестве сечения питающей линии принимаем одноцепную воздушную линию (ВЛ) со сталеалюминевыми проводами.

На стадии проектирования воздушных линий электропередач том числе и 500 кВ, выбор сечения проводов определяется по нормированному значению экономической плотности тока и расчетной токовой нагрузке (1.1):

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{р}}}{J_{\text{эк}}}, \quad (1.1)$$

где  $S_{\text{эк}}$  – экономическое сечение провода,  $\text{мм}^2$ ;

$I_{\text{р}}$  – ток расчетный, А;

$J_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока,  $\text{А}/\text{мм}^2$ , при  $T_{\text{max}} = 4000\text{-}6000$  ч/год  
 $J_{\text{эк}} = 1 \text{ А}/\text{мм}^2$  [1, с. 35].

Расчетный ток линии определяется по следующей формуле [2, с. 416] (1.2):

$$I_{\text{р}} = I_{(5)} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_{\text{Т}}, \quad (1.2)$$

где  $I_{(5)}$  – прогнозируемая максимальная токовая нагрузка линии на пятый год ее эксплуатации в нормальном установившемся режиме, А;

$\alpha_i$  – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии; для воздушных линий электропередач 110 – 220 кВ  $\alpha_i = 1,05$  [2, с. 417];

$\alpha_{\text{Т}}$  – коэффициент, учитывающий число часов использования наибольшей нагрузки ВЛ; находится в зависимости от коэффициента  $K_{\text{М}}$ , который отражает участие нагрузки ВЛ в максимуме энергосистемы; при  $K_{\text{М}} = 0,8$  и  $T_{\text{max}} = 4000\text{-}6000$  ч,  $\alpha_{\text{Т}} = 1,2$  [2, с. 418].

Прогнозируемая максимальная токовая нагрузка линии на пятый год ее эксплуатации в нормальном установившемся режиме рассчитывается по формуле (1.1):

$$I_{(5)} = \frac{P_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n_{\text{ц}} \cdot \cos \varphi}. \quad (1.3)$$

Результаты расчета экономического сечения провода приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты расчета экономического сечения провода

Участок сети	$\alpha_i$	$\alpha_T$	$J_{эК}, \text{А/мм}^2$	$I_{(5)}, \text{А}$	$I_p, \text{А}$	$S_{эК}, \text{мм}^2$
ВЛ 220 кВ	1,05	1,2	1	200	252	82

Из стандартного ряда сечений с ориентацией на условие коронирования и возможностью развития энергосистемы в будущем, принимаем провод марки АС-300/39. Параметры линии электропередачи приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Параметры линии электропередачи

$U_{ном}, \text{кВ}$	$L, \text{км}$	$r_0, \text{Ом/км}$	$x_0, \text{Ом/км}$	$b_0 \cdot 10^{-6}, \text{См/км}$	$R_l, \text{Ом}$	$X_l, \text{Ом}$	$B_l \cdot 10^{-6}, \text{См}$
220	54	0,960	0,429	2,645	5,184	23,166	142,83

### 1.1.1. Проверка выбранного сечения по нагреву

Осуществим проверку, выбранного сечения, по условию длительно допустимой токовой нагрузки (1.4):

$$I_{н.б.} \leq I_{доп}, \quad (1.4)$$

где  $I_{н.б.}$  – наибольшее значение тока в послеаварийных и ремонтных режимах электрической сети, А

$I_{доп}$  – допустимый ток, А, для провода марки АС-300/39  $I_{доп} = 690 \text{ А}$  [1, с. 30].

Поскольку ВЛ состоит из одной цепи, то ее аварийное или ремонтное отключение соответствует прекращению питания потребителей по ней. За наибольшее значение тока принимаем ток, протекающий в линии, при передаче максимальной мощности нагрузки,  $I_{н.б.} = 430 \text{ А}$ , тогда

$$430 < 690 \text{ А.}$$

Вывод: для данной линии проверка по условию длительно допустимой токовой нагрузки выполняется. Провод принимается к дальнейшим расчетам.

## 2. Механический расчет воздушной линии

### 2.1. Исходные данные для проектирования

Трасса проектируемой воздушной линии электропередачи 220 кВ проходит по территории Ванинского района Хабаровского края. В таблице 2.1 приведены данные по местности.

Таблица 2.1 – Данные по местности

Параметр	Значение
Район по ветровому давлению	IV
Район по толщине стенок гололеда	V
Абсолютно минимальная температура воздуха, $t_-$	$-53^{\circ}\text{C}$
Абсолютно максимальная температура воздуха, $t_+$	$41^{\circ}\text{C}$
Среднегодовая температура, $t_{\text{сг}}$	$-1^{\circ}$
Температура гололедообразования, $t_{\text{г}}$	$-5^{\circ}\text{C}$
Нормативная толщина стенки гололеда, $b_3$	30 мм
Нормативное ветровое давление, $W_0$	800 Па

Воздушная линия выполнена проводом марки АС–300/39. Протяженность ВЛ составляет 54 км. В таблице 2.2 приведены технические данные провода в соответствии с таблицами 1.52, 1.54 [4].

Таблица 2.2 – Технические данные провода АС–300/39

Параметр	Провод	Сердечник	Проводник
Сечение, $\text{мм}^2$	301	38,6	339,6
Диаметр, мм	24,0	8	32
Масса, кг/км	1132	–	–

### 2.2. Определение механических нагрузок на провод от внешних воздействий

#### 2.2.1. Постоянно действующая и удельная нагрузка

Непрерывно действующая нагрузка от собственной массы провода на 1 м. определяется по следующему выражению (2.1):

$$P_{\text{п}} = M_{\text{п}} \cdot g \cdot 10^{-3}, \quad (2.1)$$

					ФЮРА.13.03.02.007 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Кулыгин В.А.			Механический расчет воздушной линии	Лит.	Лист	Листов
Руков.		Носов Г.В.					22	116
						ТПУ ИнЭО <sup>22</sup> Гр. 3-5А3Г1		

где  $P_{\Pi}$  – постоянно действующая нагрузка, Н/м;  
 $M_{\Pi}$  – вес провода, кг;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$$P_{\Pi} = 1132 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 11,09 \text{ Н/м.}$$

Удельная нагрузка от собственного веса провода вычисляется по формуле (2.2):

$$\gamma_{\Pi} = \frac{P_{\Pi}}{F_{\text{пр}}}, \quad (2.2)$$

где  $\gamma_{\Pi}$  – удельная нагрузка, Н/м · мм<sup>2</sup>;  
 $F_{\text{пр}}$  – сечение провода, мм<sup>2</sup>.

$$\gamma_{\Pi} = \frac{11,09}{339,6} = 0,032 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.2.2. Нормативная временно действующая нагрузка от гололеда

Нормативная временно действующая нагрузка от массы гололедных отложений на один метр провода (2.3):

$$P_{\text{гп}}^{\text{н}} = \pi \cdot K_i \cdot K_d \cdot b_{\text{э}} \cdot (d_{\text{п}} + K_i \cdot K_d \cdot b_{\text{э}}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3}, \quad (2.3)$$

где  $K_i$ ,  $K_d$  – коэффициенты, учитывающие изменения величины гололедного отложения по высоте и в зависимости от размера провода [1, табл. 2.5.4];

$b_{\text{э}}$  – толщина стенки гололеда, м;

$d_{\text{п}}$  – диаметр провода, мм;

$\rho$  – плотность льда, составляет 0,9 г/см<sup>3</sup>.

Для выбора коэффициентов  $K_i$ ,  $K_d$ , необходимо рассчитать высоту нахождения приведенного центра тяжести провода или троса для габаритного пролета.

В соответствии с [1, п.2.5.44], высота расположения приведенного центра тяжести провода для габаритного пролета вычисляется по формуле (2.4):

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ср}} - \frac{2}{3} \cdot f, \quad (2.4)$$

где  $h_{\text{пр}}$  – высота расположения приведенного центра тяжести провода, м;  
 $h_{\text{ср}}$  – среднеарифметическое значение высоты крепления провода к изоляторам, отсчитываемое от отметок земли в местах установки опор, м;  
 $f$  – стрела провисания провода при наибольшей температуре, м.

Провод АС – 300/39 необходимо подвесить на стальных, одноцепных промежуточных опорах марки П 220 – 3, расстояние от нижнего пояса опоры до крепления траверсы к опоре согласно типовых чертежей составляет  $H_{\text{пр}} = 22,5$  м. Чертеж и характеристика приведена в приложение Б [4. табл.1.36].

Среднее значение высоты крепления провода к изоляторам вычисляется по выражению (2.5):

$$h_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{\text{тр}}^i}{n}, \quad (2.5)$$

где  $H_{\text{тр}}^i$  – расстояние от поверхности земли до места установки опоры, м;  
 $n$  – число участков, отсчитываемых от поверхности земли в месте установки опоры.

$$h_{\text{ср}} = \frac{22,5 + (22,5 + 4)}{2} = 24,5 \text{ м.}$$

Стрела провиса проводника при наибольшей температуре определяется по следующему выражению (2.6):

$$f = \frac{\gamma_{\text{п}} \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{\text{сз}}}, \quad (2.6)$$

где  $l$  – длина промежуточного пролета, м;  
 $\sigma_{\text{сз}}$  – среднеэксплуатационное значение величины, Н/мм<sup>2</sup>.

Таким образом по таблице 2.2, поперечное сечение провода АС–300/39 составляет  $F_{\text{AL}} = 301$  мм<sup>2</sup>, сердечника –  $F_{\text{ст}} = 38,9$  мм<sup>2</sup>, а их отношение:



$$\frac{F_{AL}}{F_{CT}} = \frac{301}{38,9} = 7,8$$

Для данного отношения допустимое механическое напряжение  $\sigma_{сз} = 84 \text{ Н/мм}^2$  [1, табл. 2.5.7].

На основании таблицы 2.3 принимаем длину промежуточного пролета  $l = 300 \text{ м}$ .

Стрела провисания проводника (2.6):

$$f = \frac{0,032 \cdot 300^2}{8 \cdot 84} = 4,29 \text{ м.}$$

Произведем вычисление по формуле (2.4), высота приведенного центра тяжести провода составляет:

$$h_{\text{пр}} = 24,5 - \frac{2}{3} \cdot 4,29 = 21,62 \text{ м.}$$

Согласно [1, п. 2.5.49]: не вводят поправки на толщину стенки гололедных отложений на проводах и тросах, если высота приведенного центра тяжести провода меньше 25 метров, тогда  $K_i = 1$ ,  $K_d = 1$ .

Нормативная временно действующая нагрузка от веса гололедных наростов на один метр проводника вычисляется по формуле (2.3):

$$P_{\text{гп}}^{\text{H}} = 3,14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 30 \cdot (24 + 1 \cdot 1 \cdot 30) \cdot 0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 44,866 \text{ Н / м.}$$

Удельная нагрузка от веса гололедных образований, по аналогии с выражением (2.2):

$$\gamma_{\text{гп}}^{\text{H}} = \frac{P_{\text{гп}}^{\text{H}}}{F_{\text{пр}}} = \frac{49,859}{339,6} = 0,132 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### **2.2.3. Нормативная временно действующая нагрузка от ветрового давления без гололеда**

Нормативная временно действующая нагрузка от давления ветра на один метр провода свободного от гололеда рассчитывается по следующему выражению (2.7):

$$P_{\text{вп}}^{\text{H}} = \alpha_{\text{в}} \cdot K_1 \cdot K_{\text{в}} \cdot C_{\text{х}} \cdot W_0 \cdot F \cdot \sin^2 \varphi, \quad (2.7)$$

где  $P_{\text{вп}}^{\text{H}}$  – нормативная временно действующая нагрузка от ветрового воздействия, Н/мм<sup>2</sup>;

$\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового воздействия по пролету воздушной линии и зависящий от ветрового воздействия, для  $W_0 = 800$  Па коэффициент равным 0,7 [1, п. 2.5.52];

$K_1$  – коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку, принимаем равным 1 [1, п. 2.5.52];

$K_{\text{в}}$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового воздействия по высоте в зависимости от типа местности; для местности *B* – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м, при помощи интерполяции коэффициент равен 1 [1, табл. 2.5.2];

$C_{\text{х}}$  – коэффициент лобового сопротивления, равен 1,2 для проводов диаметром менее 20 мм [1, п. 2.5.52];

$W_0$  – нормативное ветровое давление, Па;

$F$  – площадь продольного диаметрального сечения провода, м;

$\varphi$  – угол между направлением ветра и осью ВЛ, для упрощения расчётов примем равным 90°.

Площадь продольного диаметрального сечения провода находится по выражению:

$$F = d_{\text{п}} \cdot 10^{-3} = 24,0 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Нормативная временно действующая нагрузка от ветрового воздействия на один метр проводника без гололедных образований (2.7):

$$P_{\text{вп}}^{\text{H}} = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 800 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 16,128 \text{ Н / м.}$$

Удельная нагрузка от ветрового давления на провод без гололеда, по аналогии с выражением (2.2):

$$\gamma_{\text{вп}}^{\text{H}} = \frac{P_{\text{вп}}^{\text{H}}}{F_{\text{пр}}} = \frac{16,128}{339,6} = 0,047 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

#### **2.2.4. Нормативная временно действующая нагрузка от ветрового давления с гололедом**

Нормативная временно действующая нагрузка от ветрового воздействия на один метр проводника с гололедными образованиями определяется по выражению (2.8):

$$P_{\text{впг}}^{\text{н}} = \alpha_{\text{в}} \cdot K_1 \cdot K_{\text{в}} \cdot C_x \cdot 0,25 \cdot W_0 \cdot F \cdot \sin^2 \varphi, \quad (2.8)$$

где  $P_{\text{впг}}^{\text{н}}$  – нормативная временно действующая нагрузка от давления ветра с гололедом, Н/мм<sup>2</sup>;

$0,25 \cdot W_0$  – гололедное ветровое давление, Па;  $0,25 \cdot 800 = 200$  Па, тогда  $\alpha_{\text{в}} = 0,7$  [1, п. 2.5.52];

$F$  – площадь продольного диаметрального сечения провода, м.

Площадь продольного диаметрального сечения провода вычисляется с помощью выражения (2.9):

$$F = (d_{\text{п}} + 2 \cdot K_1 \cdot K_{\text{д}} \cdot b_{\text{э}}) \cdot 10^{-3}. \quad (2.9)$$

$$F = (24 + 1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 30) \cdot 10^{-3} = 0,084 \text{ м.}$$

Для проводов покрытым гололедом, коэффициент лобового сопротивления  $C_x = 1,2$  [1, п. 2.5.52].

Нормативная временно действующая нагрузка от ветрового воздействия с гололедом (2.8):

$$P_{\text{впг}}^{\text{н}} = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 200 \cdot 0,084 \cdot 1 = 14,112 \text{ Н / м.}$$

Удельная нагрузка от ветрового давления на проводника с гололедным образованием, по аналогии с выражением (2.2):

$$\gamma_{\text{впг}}^{\text{н}} = \frac{P_{\text{впг}}^{\text{н}}}{F_{\text{пр}}} = \frac{14,112}{339,6} = 0,042 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.2.5. Расчетная гололедная нагрузка

Расчётная нагрузка от массы гололедных отложений на 1 м. проводника определяется следующим образом:

$$P_{\text{гп}} = P_{\text{гп}}^{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{пв}} \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot \gamma_{\text{ф}} \cdot \gamma_{\text{д}}, \quad (2.10)$$

где  $P_{\text{гп}}$  – расчётная нагрузка от веса гололедных образований, Н/мм<sup>2</sup>;

$\gamma_{пв}$  – коэффициент надежности по ответственности, принимаем равным 1 для воздушных линий до 220 кВ [1, п. 2.5.55];

$\gamma_p$  – региональный коэффициент, принимаем равным 1 [1, п. 2.5.55];

$\gamma_f$  – коэффициент надежности по гололедной нагрузке, равен 1,6 [1, п. 2.5.55];

$\gamma_d$  – коэффициент условий работы, равен 0,5 [1, п. 2.5.55].

$$P_{гп} = 16,128 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 0,5 = 12,902 \text{ Н/м.}$$

Удельная расчетная нагрузка от массы гололедных отложений, по аналогии с выражением (2.2):

$$\gamma_{гп} = \frac{P_{гп}}{F_{пр}} = \frac{12,902}{339,6} = 0,038 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.2.6. Расчётная нагрузка от давления ветра без гололеда

Расчётная нагрузка от ветрового воздействия на 1 м. свободного от гололеда провода рассчитывается по выражению (2.11):

$$P_{вп} = P_{вп}^H \cdot \gamma_{пв} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f, \quad (2.11)$$

где  $P_{вп}$  – расчётная нагрузка от воздействия ветра без гололеда, Н/мм<sup>2</sup>;

$\gamma_{пв}$  – коэффициент надежности по ответственности, равен 1 [1, п. 2.5.54];

$\gamma_p$  – региональный коэффициент, принят равным 1 [1, п. 2.5.54];

$\gamma_f$  – коэффициент надежности по ветровой нагрузке, равный 1,1 [1, п. 2.5.54].

$$P_{вп} = 16,128 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 17,741 \text{ Н/м.}$$

Удельная расчетная нагрузка от ветрового воздействия на проводник без гололедных образований, по аналогии с выражением (2.2):

$$\gamma_{вп} = \frac{P_{вп}}{F_{пр}} = \frac{17,741}{339,6} = 0,052 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.2.7. Расчётная нагрузка от давления ветра с гололедом

Расчётная нагрузка от воздействия ветра на 1 м. провода с гололедным образованием вычисляется по формуле (2.12):

$$P_{\text{впг}} = P_{\text{впг}}^{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{пв}} \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot \gamma_{\text{ф}}, \quad (2.12)$$

где  $P_{\text{впг}}$  – расчётная нагрузка от давления ветра с гололедом, Н/мм<sup>2</sup>.

$$P_{\text{впг}} = 14,112 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 15,523 \text{ Н/м}.$$

Удельная расчетная нагрузка от ветрового воздействия на проводник с гололедными образованиями, по аналогии с выражением (2.2):

$$\gamma_{\text{пвг}} = \frac{P_{\text{пвг}}}{F_{\text{пр}}} = \frac{15,523}{339,6} = 0,046 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.2.8. Результирующие нагрузки

- 1) Результирующая нагрузка от веса проводника и веса гололедного отложения:

$$P_{\Sigma 1} = P_{\text{п}} + P_{\text{гп}} = 11,09 + 12,902 = 23,992 \text{ Н/м}.$$

Удельная результирующая нагрузка от веса проводника и веса гололедного отложения:

$$\gamma_{\Sigma 1} = \frac{P_{\Sigma 1}}{F_{\text{пр}}} = \frac{23,992}{339,6} = 0,071 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

- 2) Результирующая нагрузка от собственного веса проводника и ветрового воздействия:

$$P_{\Sigma 2} = \sqrt{P_{\text{п}}^2 + P_{\text{впг}}^2} = \sqrt{11,09^2 + 17,741^2} = 20,992 \text{ Н/м}.$$

Удельная результирующая нагрузка от собственного веса проводника и ветрового воздействия:

$$\gamma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma 2}}{F_{\text{пр}}} = \frac{20,992}{339,6} = 0,062 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

- 3) Результирующая нагрузка от веса провода с гололедным образованием и ветровым воздействием равна:

$$P_{\Sigma 3} = \sqrt{P_{\Sigma 1}^2 + P_{\text{впг}}^2} = \sqrt{23,992^2 + 15,523^2} = 36,46 \text{ Н/м}.$$

Удельная результирующая нагрузка от веса провода с гололедным образованием и ветровым воздействием:

$$\gamma_{\Sigma 3} = \frac{P_{\Sigma 3}}{F_{\text{пр}}} = \frac{36,46}{339,6} = 0,107 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Удельная результирующая нагрузка на проводник с гололедными образованиями и воздействием ветра является максимальной, поэтому в последующих вычислениях принимаем значение равным:

$$\gamma_{\text{нб}} = \gamma_{\Sigma 3} = 0,107 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.3. Определение физико-механических характеристик провода

Согласно [1, таблица 2.5.8.], для провода марки АС 300/39 при отношении площадей поперечных сечений  $\frac{F_{\text{AL}}}{F_{\text{ст}}} = 7,8$  модуль упругости и температурный коэффициент линейного удлинения соответственно равны:  $E = 7,7 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\alpha = 19,8 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ .

По таблице 2.5.7 [1] предельные значения механических напряжений при наибольшей нагрузке и наименьшей температуре составляют  $\sigma_{\text{нб}} = \sigma_{-} = 126 \text{ Н/мм}^2$ , а также при среднегодовой температуре  $\sigma_{\text{ст}} = 84 \text{ Н/мм}^2$ . В процессе работы линии механические напряжения не должны превышать предельных значений.

Определим изменение среднеэксплуатационного напряжения в проводе, которое возникает в пролетах различной длины, двумя методами: графическим и аналитическим. В каждом методе необходимо обеспечить допустимое напряжение при максимальной нагрузке или действии на провод низкой температуры.

#### 2.3.1. Определение критических длин пролета графическим методом

Для построения графика изменения механического напряжения от расстояния пролета необходимо составить и решить уравнение состояния провода.

Уравнение состояния провода для вычисления среднеэксплуатационных напряжений, с учетом наибольшей механической нагрузки, имеет вид (2.13):

$$\sigma_{сз} - \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24 \cdot \sigma_{сз}^2} = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_{г}). \quad (2.13)$$

Уравнение (2.13) можно представить как неполное кубическое, перемножив все части уравнения на  $\sigma_{сз}^2$  (2.14):

$$\sigma_{сз}^3 - A \cdot \sigma_{сз}^2 - B = 0, \quad (2.14)$$

где  $A = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_{г});$

$$B = \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24}.$$

Определим изменение среднеэксплуатационного механического напряжения в проводе при увеличении длины пролета и возникновения наибольшей удельной нагрузки. Рассмотрим два предельных случая изменения длины пролета от 0 до  $\infty$  :

- 1)  $l$  стремиться к 0, тогда уравнение состояния (2.13) примет вид (2.15):

$$\sigma_{сз1}^{(1)} = \sigma_{нб} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_{г}). \quad (2.15)$$

При подстановке численных значений в (2.15) получаем:

$$\sigma_{сз1}^{(1)} = 126 - 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot [-1 - (-5)] = 126 \text{ Н/мм}^2.$$

- 2)  $l$  стремиться к  $\infty$ , тогда при делении всех членов уравнения (2.13) на  $l^2$  уравнение состояния примет вид (2.16):

$$\sigma_{сз2}^{(1)} = \frac{\gamma_{\Pi}}{\gamma_{нб}} \cdot \sigma_{нб} \quad (2.16)$$

При подстановке численных значений в (2.16) получаем:

$$\sigma_{сз2}^{(1)} = \frac{0,032}{0,107} \cdot 126 = 37,68 \text{ Н/мм}^2.$$

В результате, при появлении максимальной нагрузки среднеэксплуатационное механическое напряжение в проводнике изменяется от 126 до 37,68 Н/мм<sup>2</sup>.

Значение коэффициентов А и В на основании формулы (2.14) равны:

$$A = 126 - \frac{0,107^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot l_1^2}{24 \cdot 126^2} - 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot [-1 - (-5)] = 119,902 - 0,0023 \cdot l_1^2;$$

$$B = \frac{0,032^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot l_1^2}{24} = 3,29 \cdot l_1^2.$$

Вычислим значение  $A$  и  $B$ , а также среднеэксплуатационное механическое напряжение при длинах пролетов от 0 до 400 м. Осуществим решение неполного кубического уравнения (2.14) методом Ньютона, используя следующую формулу (2.17):

$$\sigma_{k+1} = \sigma_k - \frac{\sigma_k^3 - A \cdot \sigma_k^2 - B}{3 \cdot \sigma_k^2 - 2 \cdot A \cdot \sigma_k} = \frac{\sigma_k^2 \cdot (2 \cdot \sigma_k - A) - B}{\sigma_k \cdot (3 \cdot \sigma_k - 2 \cdot A)}. \quad (2.17)$$

Результаты расчетов механического напряжения при разных длинах пролетов приведены в приложение Г.

Рассмотрим другой случай изменения среднеэксплуатационного механического напряжения в проводнике в зависимости от изменения расстояния от опоры до опоры при влиянии наименьшей температуры окружающей среды.

Уравнение состояния провода для вычисления среднеэксплуатационных напряжений для данного случая имеет вид (2.18):

$$\sigma_{сэ} - \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24 \cdot \sigma_{сэ}^2} = \sigma_- - \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24 \cdot \sigma_-^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_-). \quad (2.18)$$

Аналогично с предыдущим, рассмотрим два предельных случая изменения длины пролета от 0 до  $\infty$ :

1)  $l$  стремиться к 0, тогда уравнение состояния примет вид (2.19):

$$\sigma_{сэ1}^{(2)} = \sigma_- - \alpha \cdot E \cdot (t_{сг} - t_-). \quad (2.19)$$

При подстановке численных значений в (2.19) получаем:

$$\sigma_{сэ1}^{(2)} = 126 - 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot [-1 - (-53)] = 46,720 \text{ Н/мм}^2.$$

2)  $l$  стремиться к  $\infty$ , тогда при делении всех членов уравнения (2.18) на  $l^2$  уравнение состояния примет вид (2.20):

$$\sigma_{сэ2}^{(2)} = \frac{\gamma_{\Pi}}{\gamma_{\Pi}} \cdot \sigma_-. \quad (2.20)$$



При подстановке численных значений в (2.20) получаем:

$$\sigma_{сэ2}^{(2)} = \frac{0,032}{0,032} \cdot 126 = 126 \text{ Н/мм}^2.$$

Следовательно, среднеэксплуатационное механическое напряжение в проводнике при воздействии наименьшей температуры окружающей среды будет изменяться от 46,720 до 126 Н/мм<sup>2</sup>.

Значение коэффициентов А и В на основании формулы (2.14) равны

$$\begin{aligned} A &= \sigma - \frac{\gamma_{п}^2 \cdot E \cdot l_1^2}{24 \cdot \sigma^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{ср} - t) = \\ &= 126 - \frac{0,032^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot l_1^2}{24 \cdot 126^2} - 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot [-1 - (-53)] = \\ &= 46,72 - 0,00020 \cdot l_1^2; \end{aligned}$$

$$B = \frac{0,032^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot l_1^2}{24} = 3,29 \cdot l_1^2.$$

Аналогичным образом, как и для первого случая, вычислим значение А и В, а также среднеэксплуатационное механическое напряжение при длинах пролетов от 0 до 400 м (приложение Г).

На основании приложений В и Г построим график изменения механического напряжения от длины пролета (рисунок 2.1).

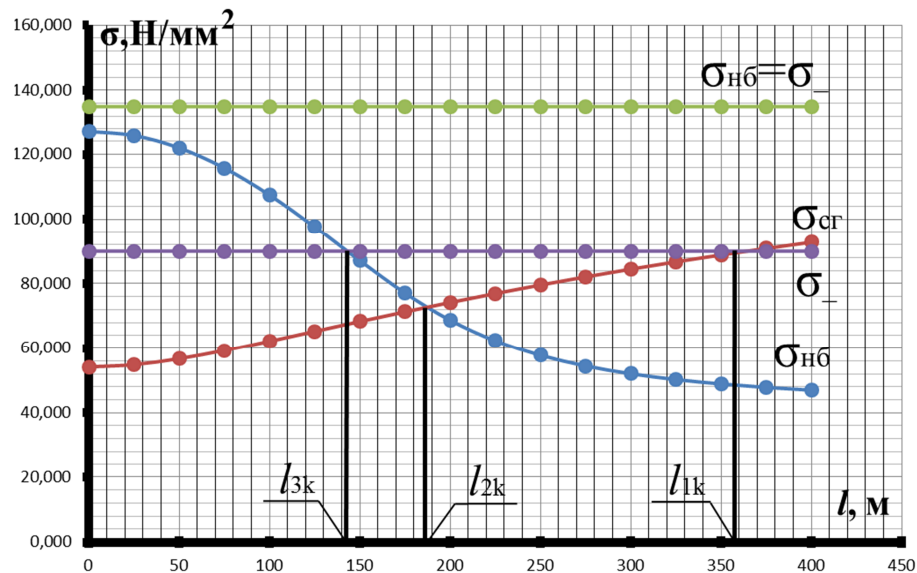


Рисунок 2.1 – Зависимости изменения механического напряжения от длины пролета

На графике можно выделить три точки пересечения кривых. Данные точки соответствуют трем критическим пролетам и их значения приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Расстояние критического пролета

Критический пролет	Расстояние, м
1-й, $l_{1к}$	394,93
2-й, $l_{2к}$	186,42
3-й, $l_{3к}$	139,39

### 2.3.2. Определение критических длин пролета аналитическим методом

Вычислим расстояние критических пролетов аналитическим способом, используя формулы (2.21-2.23):

$$l_{1к} = 4,9 \cdot \frac{\sigma_{-}}{\gamma_{\Pi}} \cdot \frac{\left( \sigma_{-} - \sigma_{сз} \right) + \alpha \cdot E \cdot \left( t_{-} - t_{сз} \right)}{\sqrt{E \cdot \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_{-}}{\sigma_{сз}} \right)^2 \right]}}, \quad (2.21)$$

$$l_{2к} = 4,9 \cdot \frac{\sigma_{нб}}{\gamma_{\Pi}} \cdot \frac{\alpha \cdot \left( t_{\Gamma} - t_{-} \right)}{\sqrt{\left( \frac{\gamma_{нб}}{\gamma_{\Pi}} \right)^2 - 1}}, \quad (2.22)$$

$$l_{3к} = 4,9 \cdot \frac{\sigma_{нб}}{\gamma_{п}} \cdot \sqrt{\frac{(\sigma_{нб} - \sigma_{сэ}) + \alpha \cdot E \cdot (t_{г} - t_{сэ})}{E \cdot \left[ \left( \frac{\gamma_{нб}}{\gamma_{п}} \right)^2 - \left( \frac{\sigma_{нб}}{\sigma_{сэ}} \right)^2 \right]}} \quad (2.23)$$

1-й критический пролет:

$$l_{1к} = 4,9 \cdot \frac{126}{0,032} \cdot \sqrt{\frac{(126 - 84) + 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot [-53 - 1]}{7,7 \cdot 10^4 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{126}{84} \right)^2 \right]}} = 394,93 \text{ м.}$$

2-й критический пролет:

3-й критический пролет:

$$l_{3к} = 4,9 \cdot \frac{126}{0,032} \cdot \sqrt{\frac{(126 - 84) + 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot [-5 - (-1)]}{7,7 \cdot 10^4 \cdot \left[ \left( \frac{0,107}{0,032} \right)^2 - \left( \frac{126}{84} \right)^2 \right]}} = 139,39 \text{ м.}$$

Поскольку  $l_{1к} > l_{3к}$ , то среднеэксплуатационный режим не будет являться определяющим, а значит, первый и третий критический пролет являются мнимыми. Расчетным режимом является режим наибольших нагрузок, в качестве которого может рассматриваться максимальный режим скоростного потока для проводника без гололеда, либо режим гололедообразования.

Для расчета принимаем режим наибольшего скоростного напора с гололедообразованием, тогда  $\gamma_{нб.} = \gamma_{\Sigma 3} = 0,107 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2$ ,  $t = t_{г} = -5^{\circ}\text{C}$ .

## 2.4. Определение критической температуры и габаритного пролета

Критической называется температура воздуха, при которой стрела провеса провода при наличии гололедных образований имеет такое же значение, как и от воздействия собственного веса.

Определим критическую температуру воздуха и климатические условия, при которой провисание провода имеет наибольшее значение.

Критическая температура воздуха рассчитывается по выражению (2.24):

$$t_{\text{к}} = (t_{\text{Г}} - 3) + \frac{\sigma_{\text{нб}}}{\alpha \cdot E} \cdot \frac{\gamma_{\text{п}}}{\gamma_{\Sigma 3}} \quad (2.24)$$

$$t_{\text{к}} = (-5 - 3) + \frac{126}{19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4} \cdot \frac{0,032}{0,107} \approx 17^{\circ}\text{С}.$$

Наивысшая температура воздуха в Кемеровской области составляет  $41^{\circ}\text{С}$ , что больше критической температуры:

$$t_{+} = 41 > t_{\text{к}} = 17^{\circ}\text{С},$$

следовательно, максимальная стрела провисания провода будет при наибольшей температуре, т.е. от собственной массы провода.

Для определения габаритного пролета необходимо решить уравнение состояния провода (2.13), в котором расчетные условия являются исходными данными, а габаритные – искомыми (2.25):

$$l_{\text{габ}}^4 \cdot \left( \frac{\gamma_{[\text{f}]}}{8 \cdot f} + \left( \frac{\gamma_{[\sigma]}}{\sigma_{\text{нб}}} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} \right) - l_{\text{габ}}^2 \cdot [\sigma_{\text{нб}} + \alpha \cdot E \cdot (t_{[\sigma]} - t_{[\text{f}]})] - \frac{8}{3} \cdot f^2 \cdot E = 0, \quad (2.25)$$

где  $\gamma_{[\text{f}]}$  – удельная механическая нагрузка, соответствующая максимальному провису провода,  $\text{Н/м} \cdot \text{мм}^2$ ,  $\gamma_{[\text{f}]} = \gamma_{\text{п}}$ ;

$\gamma_{[\sigma]}$  – исходная удельная механическая нагрузка для расчета провода на прочность,  $\text{Н/м} \cdot \text{мм}^2$ ,  $\gamma_{[\sigma]} = \gamma_{\Sigma 3}$ ;

$t_{[\sigma]}$  – исходная температура для расчета провода на прочность,  $^{\circ}\text{С}$ ,  $t_{[\sigma]} = t_{\text{Г}}$ ;

$t_{[\text{f}]}$  – температура, наибольшей стрелы провисания провода,  $^{\circ}\text{С}$ ,  $t_{[\text{f}]} = t_{+}$ .

Преобразуем биквадратное уравнение (2.25) к следующему виду (2.26):

$$A \cdot l_{\text{габ}}^4 - B \cdot l_{\text{габ}}^2 - C = 0, \quad (2.26)$$

где  $A = \frac{\gamma_{[\text{f}]}}{8 \cdot f} + \left( \frac{\gamma_{[\sigma]}}{\sigma_{\text{нб}}} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} = \frac{0,032}{8 \cdot 4,29} + \left( \frac{0,107}{126} \right)^2 \cdot \frac{7,7 \cdot 10^4}{24} = 0,00116;$

$$B = \sigma_{нб} + \alpha \cdot E \cdot (t_{[\sigma]} - t_{[f]}) = 126 + 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot (-5 - 41) = 55,87;$$

$$C = \frac{8}{3} \cdot f^2 \cdot E = \frac{8}{3} \cdot 4,29^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 = 1,49 \cdot 10^6.$$

Биквадратное уравнение (2.26) принимает вид:

$$0,00116 \cdot l_{габ}^4 - 55,87 \cdot l_{габ}^2 - 0,49 \cdot 10^6 = 0.$$

$l_{габ}$  может быть определено по следующему выражению:

$$l_{габ} = \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}} = \sqrt{\frac{55,87 + \sqrt{55,87^2 + 4 \cdot 0,00116 \cdot 1,49 \cdot 10^6}}{2 \cdot 0,00116}} = 259,36 \text{ м} \cong 260 \text{ м}.$$

Значение  $l_{габ} \cong 260 > l_{2к} = 186,42 \text{ м}$  – следовательно, расчетные условия выбраны, верно. Стрела провисания для рассчитанного габаритного пролета составляет:

$$f_{габ} = \frac{\gamma_{п} \cdot l_{габ}^2}{8 \cdot \sigma_{нб}} = \frac{0,032 \cdot 260^2}{8 \cdot 126} = 2,146 \text{ м}.$$

## 2.5. Выбор изоляторов, арматуры и комплектование гирлянд

Для комплектования гирлянд проектируемой ВЛ 220 кВ, необходимо выбрать изоляторы на промежуточную и анкерную опору.

### 2.5.1. Подвесные изоляторы для промежуточных опор

Согласно государственным стандартам и техническим условиям: расчетные усилия в изоляторах не должны превышать значений электромеханических нагрузок.

Для выбора типа изолятора, необходимо рассчитать весовой пролет линии по формуле (2.27):

$$l_{вс} = 1,25 \cdot l_{габ}, \quad (2.27)$$

где  $l_{вс}$  – весовой пролет, м.

$$l_{вс} = 1,25 \cdot 260 = 325 \text{ м}.$$

для промежуточных опор в нормальном режиме выбор изоляторов поддерживающих гирлянд производится при максимальной нагрузке и

среднеэксплуатационных условиях. Данные величины определяем по формулам (2.28) и (2.29).

$$2,5 \cdot (n_{\phi} \cdot \gamma_{нб} \cdot F_{пр} \cdot l_{вес} + G_{г}) \leq P, \quad (2.28)$$

$$5 \cdot (n_{\phi} \cdot \gamma_{п} \cdot F_{пр} \cdot l_{вес} + G_{г}) \leq P, \quad (2.29)$$

где  $n_{\phi}$  – число проводников в расщепленной фазе, в расчетах принимаем 1;

$F_{пр}$  – площадь поперечного сечения провода, м<sup>2</sup>;

$l_{вес}$  – весовой пролет ВЛ, м;

$G_{г}$  – средний вес изоляционной гирлянды, Н, для ВЛ220 кВ,  $G_{г} = 800$  Н [5, с. 252];

$P$  – электромеханическая разрушающая нагрузка изолятора, Н.

Для одноцепной ВЛ–220кВ производим выбор подвесного стеклянного тарельчатого высоковольтного изолятора ПС – 70Е [4.табл.1.70]. Технические данные и чертеж, выбранного изолятора, приведены в приложении Д.

Проверка изолятора ПС – 70Е в нормальном режиме работы линии при наибольшей механической нагрузке (2.28):

$$2,5 \cdot (1 \cdot 0,107 \cdot 301 \cdot 325 + 800) = 28168,2 < 70000 \text{ Н.}$$

Проверка изолятора ПС – 70Е в нормальном режиме работы линии при среднеэксплуатационных условиях (2.29):

$$5 \cdot (1 \cdot 0,032 \cdot 301 \cdot 325 + 800) = 19652 < 70000 \text{ Н.}$$

Вывод: изолятор ПС – 70Е в нормальном режиме работы удовлетворяет требованию по максимально допустимой механической разрушающей силе.

В аварийном режиме работы линии на гирлянды изоляторов действуют весовые нагрузки от проводов и самой гирлянды, а также редуцирование тяжения. Выражение для поддерживающих гирлянд в аварийном режиме имеет вид (2.30):

$$1,8 \cdot \sqrt{\left(\frac{n_{\phi} \cdot \gamma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\Gamma}\right)^2 + (k_{\text{рд}} \cdot T_{\text{нб}})^2} \leq P, \quad (2.30)$$

где  $k_{\text{рд}}$  – коэффициент редукции, в среднем равен 0,4;

$T_{\text{нб}}$  – сила тяжения, Н, определяется по формуле (2.31):

$$T_{\text{нб}} = n_{\phi} \cdot \sigma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}}. \quad (2.31)$$

Для режима наибольших нагрузок  $\sigma_{\text{нб}} = 126 \text{ Н/мм}^2$ , тогда сила тяжения равна:

$$T_{\text{нб}} = 1 \cdot 126 \cdot 301 = 37926 \text{ Н.}$$

Проверка изолятора ПС–70Е в аварийном режиме работы линии (2.30):

$$1,8 \cdot \sqrt{\left(\frac{1 \cdot 0,107 \cdot 301 \cdot 325}{2} + 800\right)^2 + (0,4 \cdot 37926)^2} = 10501,66 < 70000 \text{ Н.}$$

Вывод: изолятор ПС – 70Е в аварийном режиме работы удовлетворяет требованию по максимально допустимой механической разрушающей силе

Сравнение трех рассчитанных значений нагрузок показывает, что в данном случае выбор изоляторов для поддерживающей гирлянды должен производиться по аварийному режиму работы линии.

Рядом со строящейся ВЛ на расстоянии до 250 м, располагается предприятие по добыче угля. Согласно таблице 1.9.12 [1] степень загрязнения атмосферы соответствует 3-му району.

Для расчета количественной составляющей изоляционных материалов в гирлянде вычислим по формуле (2.32) длину пути утечки [1. п.1.9.9.] (2.32):

$$L = \lambda_{\text{э}} \cdot U \cdot k, \quad (2.32)$$

где  $L$  – длина пути утечки, см.

$\lambda_{\text{э}}$  – удельная эффективная длина пути утечки, см/кВ, для 3 района по степени загрязнения  $\lambda_{\text{э}} = 2,5 \text{ см/кВ}$  [1, табл. 1.9.1];

$U$  – наибольшее рабочее междуфазное напряжение, кВ, составляет 252 кВ [6];

$k$  – коэффициент использования изоляционной конструкции, вычисляется по следующей формуле [1, п. 1.9.44] (2.33):

$$k = k_{\text{и}} \cdot k_{\text{к}}, \quad (2.33)$$

где  $k_{\text{и}}$  – коэффициент использования изолятора, согласно [1, п. 1.9.45]

$$\frac{L_{\text{и}}}{D} = \frac{303}{255} = 1,19 \Rightarrow k_{\text{и}} = 1,1;$$

$k_{\text{к}}$  – коэффициент использования составной конструкции с параллельными или последовательно – параллельными ветвями, согласно [1, п. 1.9.51]  $k_{\text{к}} = 1$ .

Коэффициент использования изоляционной конструкции равен:

$$k = 1,1 \cdot 1 = 1,1.$$

Длина пути утечки равна:

$$L = 2,5 \cdot 252 \cdot 1,1 = 693 \text{ см.}$$

Необходимая количественная составляющая подвесных тарельчатых изоляторов на промежуточную опору а также в каждой гирлянде специальной конструкции ( $v$ ,  $\Lambda$ ,  $Y$ ,  $\lambda$ ), составленной из изоляторов одного типа (в одной последовательной ветви), вычисляется по формуле (2.34):

$$m = \frac{L}{L_{\text{и}}}, \quad (2.34)$$

где  $m$  – количество подвесных тарельчатых изоляторов в поддерживающих гирляндах, шт;

$L_{\text{и}}$  – длина пути утечки одного изолятора по стандарту или техническим условиям на изолятор конкретного типа, см.

$$m = \frac{693}{30,3} = 22,87 \cong 23 \text{ шт.}$$

С учетом арматуры принимаем  $m = 24$  шт.

Длина поддерживающих гирлянд изоляторов определяется по выражению (2.35):

$$\lambda_{\text{и}} = m \cdot H, \quad (2.35)$$



где  $\lambda_{\Pi}$  – длина поддерживающих гирлянд изоляторов, м;

$H$  – высота одного изолятора, м.

$$\lambda_{\Pi} = 24 \cdot 0,127 = 3 \text{ м.}$$

Масса поддерживающей гирлянды изоляторов рассчитывается по формуле (2.36):

$$G_{\text{И}} = m \cdot m_{\text{и}}, \quad (2.36)$$

где  $G_{\text{И}}$  – масса поддерживающей гирлянды изоляторов, кг;

$m_{\text{и}}$  – масса изолятора, кг.

$$G_{\text{И}} = 24 \cdot 3,4 = 81,6 \text{ кг.}$$

### 2.5.2. Натяжные изоляторы для анкерных опор

Нормативные нагрузки, приложенные к натяжным гирляндам анкерных опор, находятся аналогичным образом, как и для изоляторов промежуточных опор. Допустимый весовой пролет для анкерных опор принимаем равным весовому пролету промежуточных опор:

$$l_{\text{вес}} = 325 \text{ м.}$$

Выбор изоляторов натяжного типа для анкерных опор определяется в эксплуатационном нормальном режиме работы осуществляется при максимальной механической нагрузке (2.37) и при среднеэксплуатационных условиях (2.38):

$$2,5 \cdot \sqrt{\left( \frac{\gamma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\Gamma} \right)^2 + (\sigma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}})^2} \leq P, \quad (2.37)$$

$$6 \cdot \sqrt{\left( \frac{\gamma_{\Pi} \cdot F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{вес}}}{2} + G_{\Gamma} \right)^2 + (\sigma_{\text{сэ}} \cdot F_{\text{пр}})^2} \leq P, \quad (2.38)$$

где  $\sigma_{\text{сэ}}$  – напряжение в проводе, Н/мм<sup>2</sup>, определяется с учетом  $l_{\text{вес}}$  по зависимостям изменения механического напряжения от длины пролета (рисунок 1),  $\sigma_{\text{сэ}} = 85 \text{ Н/мм}^2$ .

Нормативная нагрузка, приложенная к натяжным гирляндам анкерных опор, при наибольшей нагрузке составляет:

$$2,5 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,107 \cdot 301 \cdot 325}{2} + 800\right)^2 + (126 \cdot 301)^2} = 94,815,2 \text{ Н.}$$

Нормативная нагрузка, приложенная к натяжным гирляндам анкерных опор, при среднеэксплуатационных условиях работы составляет:

$$6 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,032 \cdot 301 \cdot 325}{2} + 800\right)^2 + (85 \cdot 301)^2} = 154164,56 \text{ Н.}$$

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

Согласно вычислений на анкерных опорах натяжного типа необходимо смонтировать изолятор высоковольтный подвесной, тарельчатый марки ПС – 160 Д [4. табл. 1.70]

Технические данные и чертеж, выбранного изолятора, приведены в приложении Е.

Для определения количества изоляторов в гирлянде, определим длину пути утечки по формуле (2.39). Коэффициент использования изолятора, согласно [1. п. 1.9.45] равен:

$$\frac{L_{и}}{D} = \frac{370}{280} = 1,32 \Rightarrow k_{и} = 1,2 .$$

Коэффициент использования составной конструкции  $k_k=1$   
Коэффициент использования изоляционной конструкции согласно (2.33) равен:

$$k = 1,2 \cdot 1 = 1,2 .$$

Длина пути утечки равна:

$$L = 2,5 \cdot 252 \cdot 1,2 = 756 \text{ см.}$$

Количество подвесных тарельчатых изоляторов в поддерживающих гирляндах для анкерной опоры согласно формуле (2.34) равна:

$$m = \frac{756}{37} = 20,43 \cong 21 \text{ шт.}$$

С учетом арматуры принимаем  $m = 22$  шт.

Длина и вес натяжной гирлянды по формуле (2.35) и (2.36) соответственно составят:

$$\lambda_{\text{и}} = 22 \cdot 0,146 = 3,21 \text{ м;}$$

$$G_{\text{и}} = 22 \cdot 6 = 132 \text{ кг.}$$

## **2.6. Выбор линейной арматуры при проектировании ВЛ электропередачи**

Выбор линейной арматуры осуществляется в соответствии с выбранным типом изоляторов.

### **2.6.1. Выбор линейной арматуры для промежуточной опоры**

На промежуточной опоре установлен изолятор ПС 70Е, механическая разрушающая сила которой составляет 70 кН, следовательно, гарантированная прочность линейной арматуры должно составлять не менее 70 кН. Выбранная линейная арматура приведена в таблице Д.1 приложения Д [7. стр. 10].

Длина поддерживающей изоляционной составляющей в сборе со всеми комплектующими равна:

$$H_{\text{г}} = \lambda_{\text{и}} + H_{\text{ар}} = 3 + 0,26 = 3,26 \text{ м.}$$

Масса изоляционного материала с комплектом соответствующей составляет:

$$G_{\text{г}} = G_{\text{и}} + G_{\text{ар}} = 81,6 + 2,85 = 84,45 \text{ кг.}$$

### **2.6.2. Выбор линейной арматуры для анкерной опоры**

На анкерной опоре установлен изолятор ПС–160Д, механическая разрушающая сила которой составляет 160 кН. Выбранная линейная арматура приведена в таблице Е.2 в приложение Е [7. стр. 10].

Длина поддерживающей гирлянды изоляторов вместе с арматурой равна:

$$H_{\Gamma} = \lambda_{\Pi} + H_{\text{ар}} = 3,21 + 0,72 = 2,88 \text{ м.}$$

Масса гирлянды изоляторов вместе с арматурой составляет:

$$G_{\Gamma} = G_{\text{и}} + G_{\text{ар}} = 132 + 7,88 = 74,18 \text{ кг.}$$

## 2.7. Построение шаблона для расстановки промежуточных опор

Для вновь образующихся ВЛ 220 кВ необходимо вычислить и выстроить шаблон для расстановки промежуточных опор. При выборе трассы необходимо учитывать определенные условия такие как:

1) рассчитанный габарит не должен быть меньше, чем рекомендуемый ПУЭ;

2) нагрузка на опоры не должна быть больше определенных значений, принятых для опор выбранного типов.

В разделе 2.4. установлено, что максимальная стрела провисания провода имеет место от нагрузки собственного веса массы, то есть при удельной наибольшей нагрузке.

Исходными условиями являются условия наибольших нагрузок  $(\sigma_{\text{нб}}, \gamma_{\Sigma 3}, t_{+})$ , а искомыми – габаритные условия  $(\sigma_{\text{габ}}, \gamma_{\Pi}, t_{\Gamma})$ .

Построение шаблона определяется на основании ординат кривой максимального провисания.

Уравнение состояния провода для расчета напряжения соответствующее габаритному пролету имеет вид (2.39):

$$\sigma_{\text{габ}} - \frac{\gamma_{\Pi}^2 \cdot E \cdot l_{\text{габ}}^2}{24 \cdot \sigma_{\text{габ}}^2} = \sigma_{\text{нб}} - \frac{\gamma_{\Sigma 3}^2 \cdot E \cdot l_{\text{габ}}^2}{24 \cdot \sigma_{\text{нб}}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{+} - t_{\Gamma}). \quad (2.39)$$

Подставив соответствующие значения в формулу (2.39), получим:

$$\sigma_{\text{габ}} - \frac{0,032^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot 260^2}{24 \cdot \sigma_{\text{габ}}^2} = 126 - \frac{0,107^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot 260^2}{24 \cdot 126^2} - 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot [41 - (-5)], \lim_{x \rightarrow \infty}$$

$$\sigma_{\text{габ}} - \frac{222088,5}{\sigma_{\text{габ}}^2} = -39,726.$$

Приведем к общему знаменателю:

$$\sigma_{\text{габ}}^3 + 39,726 \cdot \sigma_{\text{габ}}^2 - 222088,5 = 0.$$

Осуществим решение неполного кубического уравнения методом Ньютона, используя формулу (2.17) получаем:

$$\sigma_{\text{габ}}^{k+1} = \frac{(\sigma_{\text{габ}}^k)^2 \cdot (2 \cdot \sigma_{\text{габ}}^k - 39,726) + 222088,5}{\sigma_{\text{габ}}^k \cdot (3 \cdot \sigma_{\text{габ}}^k - 2 \cdot 39,726)}.$$

Результаты расчета напряжения соответствующие габаритному пролету приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчета напряжения соответствующее габаритному пролету

$\sigma_{\text{габ}0}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{\text{габ}1}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{\text{габ}2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{\text{габ}3}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{\text{габ}4}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{\text{габ}5}, \text{Н/мм}^2$
126	95,5	81	77,33	77,1	77,09

На основании таблицы 2.4 получаем:  $\sigma_{\text{габ}} = 77,09 \text{Н/мм}^2$ .

Для распределения опор с помощью шаблона, выстроим три кривых.

Кривая №1 – кривая наибольшего провисания провода, строится по уравнению (2.40):

$$y = \frac{\gamma \cdot x^2}{2 \cdot \sigma} = \frac{\gamma \cdot 10^4}{2 \cdot \sigma} \cdot \left(\frac{x}{100}\right)^2 = k_{\text{ш}} \cdot \left(\frac{x}{100}\right)^2, \quad (2.40)$$

где  $\gamma$  – удельная механическая нагрузка, при которой имеет место наибольшее провисание провода ( $\gamma_n$ ),  $\text{Н/м} \cdot \text{мм}^2$ ;

$\sigma$  – напряжение, соответствующее габаритному пролету,  $\text{Н/мм}^2$ ;

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

$x$  – значение длины габаритного пролета от  $(0 \div 0,75) \cdot l_{\text{габ}}$ , м,

составляет  $(0 \div 0,75) \cdot 260 = 0 \div 195 \text{м}$ .

Уравнение (2.40) принимает вид:

$$y = \frac{0,032 \cdot 10^4}{2 \cdot 77,09} \cdot \left(\frac{x}{100}\right)^2 = 2,08 \cdot \left(\frac{x}{100}\right)^2.$$

Кривая №2 – габаритная кривая, служит для проверки габаритов от нижней точки кривой провисания провода до земляного слоя и инженерных сооружений. При построении сдвигается от кривой 1 на расстояние, которое определяется по формуле (2.41):

$$h_{\text{габ}} = \Gamma + (0,3 \div 0,5), \quad (2.41)$$

где  $\Gamma$  – допустимый габарит, м, принимаем равным 8 м [1.табл.2.5.22].

На основании формулы (2.41) получаем:

$$h_{\text{габ}} = 8 + 0,5 = 8,5 \text{ м.}$$

Кривая №3 – кривая земли, необходима для верного наложения шаблона без измерения и обозначения высоты подвески провода. Ее перемещают книзу от первой кривой на величину равную высоте подвески провода на одностоящих промежуточных опорах, находится по выражению (2.42):

$$h_0 = H_{\text{тр}}^{\text{нж}} - \lambda_{\text{II}}, \quad (2.42)$$

где  $H_{\text{тр}}^{\text{нж}}$  – расстояние от земли до нижней траверсы, м;

$\lambda_{\text{II}}$  – длина гирлянды изоляторов, м.

На основании формулы (2.42) получаем:

$$h_0 = 22,5 - 3 = 19,5 \text{ м.}$$

Шаблон выполняется в тех же масштабах, что и продольный профиль трассы:

- по горизонтали – 1:5000 (в1 см– 50 м);
- по вертикали – 1:500 (в1 см– 5 м).

Результаты расчета шаблона приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – К построению шаблона

X, м	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
-165	6,512	-0,788	-12,988
-150	4,757	-2,543	-14,743
-100	2,114	-5,186	-17,386
-50	0,529	-6,771	-18,971
0	0	-7,3	-19,5
50	0,529	-6,771	-18,971
100	2,114	-5,186	-17,386
150	4,757	-2,543	-14,743
165	6,512	-0,788	-12,988

Шаблон размещения опор по продольному профилю трассы, приведен на рисунке 2.2. На расчетном шаблоне указаны значения габаритного и весового пролета.

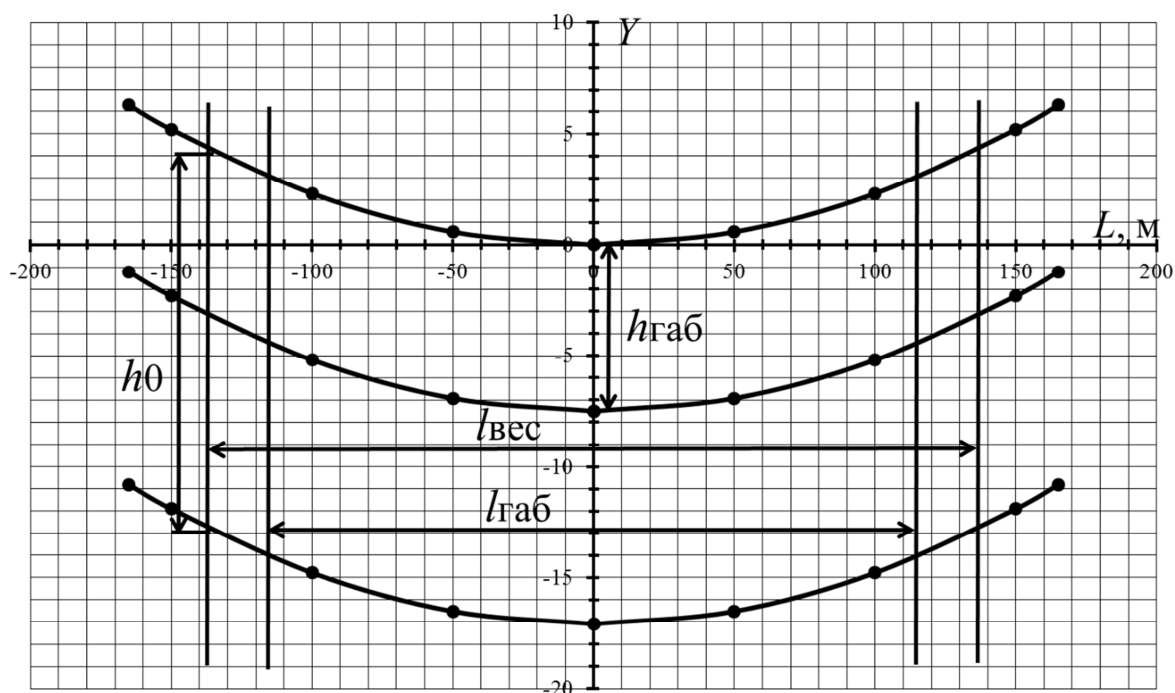


Рисунок 2.2 – Шаблон размещения опор по профилю трассы

Размещение опор по профилю трассы выполняется таким образом: шаблон накладывается на профиль трассы так, чтобы место установки первой опоры пересекалось с земляной кривой и касалось габаритной кривой. Ось  $Y$  находится вертикально. Первая промежуточная опора устанавливается в точке пересечения земляной кривой с профилем. Данное положение шаблона обеспечивает допустимый габарит до земли. Далее шаблон перемещают и подобным образом определяют положения следующих опор.

## 2.8. Расчет грозозащитного троса для промежуточных опор

В качестве грозозащитного троса принимаем, рихтованный, нераскручивающийся трос с оцинкованием для жестких погодных условий МЗ-11-В-ОЖ-Н-Р, смонтированного на промежуточной опоре П220-3, и имеющий высота тросостойки  $H_{тс} = 4$  м. Данные по выбранному тросу приведены в приложении И [8, табл. 1].

Длина гирлянды изоляторов на промежуточной опоре составляет  $\lambda_{\Pi} = 3\text{ м}$ .

Согласно таблицам 2.8, 2.10, изолятор, зажим и узел крепления троса имеют высоту:

$$\lambda_{\Gamma} = 0,127 \cdot 2 + 0,039 + 0,066 = 0,359 \text{ м},$$

поскольку число изоляторов в поддерживающем тросовом соединении должно быть не меньше 2-х [1, п. 2.5.122.].

Интенсивность ветра:  $W_0 = 800 \text{ Па}$ .

Интенсивность гололеда:  $b_3 = 30 \text{ мм}$ .

Абсолютно минимальная температура воздуха:  $t_- = -53^\circ\text{С}$ .

Абсолютно максимальная температура воздуха:  $t_+ = 41^\circ\text{С}$ .

Среднегодовая температура,  $t_{\text{сг}} = -1^\circ\text{С}$ .

Температура гололедообразования,  $t_{\Gamma} = -5^\circ\text{С}$ .

Модуль упругости и температурный коэффициент линейного удлинения соответственно равны [1, табл. 2.5.8.]:  $E = 7,7 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\alpha = 19,8 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ .

Трос рассчитывается при температуре атмосферных перенапряжений  $t_a = 15^\circ\text{С}$ .

Допустимые напряжения в тросе [8]:  $\sigma_{\text{нбт}} = 1770 \text{ Н/мм}^2$ .

Габаритное расстояние и стрела провисания провода составляет:  $l_{\text{габ}} = 260\text{ м}$ ,  $f_{\text{габ}} = 1,524\text{ м}$ .

Максимальный защитный угол проводов верхней траверсы определяется по выражению (2.45):

$$\alpha_{\text{пв}} = \text{arctg} \frac{D_{\text{В}}}{H_{\text{тс}} + \lambda_{\Pi} - \lambda_{\Gamma}}, \quad (2.45)$$

где  $\alpha_{\text{пв}}$  – наибольший защитный угол проводов верхней траверсы, град;

$D_{\text{В}}$  – половина длины верхней траверсы опоры, м.

Максимальный защитный угол проводов верхней траверсы равен:

$$\alpha_{\text{пв}} = \text{arctg} \frac{2,1}{3 + 1,65 - 0,359} = 26,08^\circ.$$



Защитный угол меньше  $30^\circ$ , что удовлетворяет требованию ПУЭ [1, п. 2.5.120].

Найдем действующие нагрузки на трос. При расчете нагрузок, влияющих на трос, некоторые коэффициенты равны аналогичным нагрузкам, действующим на провод.

### 2.8.1. Нагрузка от собственного веса троса

На основании формул (2.1, 2.2), нагрузка от собственной массы троса:

$$P_T = M_T \cdot g \cdot 10^{-3} = 752 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 7,37 \text{ Н/м.}$$

$$\gamma_T = \frac{P_T}{F_T} = \frac{7,37}{88,56} = 0,083 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.8.2. Временно действующая нагрузка от массы гололедных отложений

Высота приведенного центра тяжести троса на основании формулы (2.4) равна:

$$h_T = h_{cp} - \frac{2}{3} \cdot f = \frac{22,5 + (22,5 + 6,5) + (22,5 + 6,5 + 3,6)}{3} - \frac{2}{3} \cdot 1,524 = 22,98 \text{ м,}$$

тогда  $K_i = 1$  [1, табл. 2.5.4].

Диаметр троса составляет 11 мм, тогда  $K_d = 1,01$ .

Временно действующая нагрузка на трос от массы гололедных отложений по выражениям (2.3, 2.10):

$$P_{гта}^H = \pi \cdot K_i \cdot K_d \cdot b_{\text{э}} \cdot (d_{\text{п}} + K_i \cdot K_d \cdot b_{\text{э}}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3},$$

$$P_{гта} = P_{гта}^H \cdot \gamma_{\text{пв}} \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot \gamma_{\text{ф}} \cdot \gamma_{\text{д}}.$$

$$P_{гта}^H = 3,14 \cdot 1 \cdot 1,01 \cdot 15 \cdot (11 + 1 \cdot 1,01 \cdot 15) \cdot 0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 10,972 \text{ Н / м.}$$

$$P_{гта} = 10,972 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 0,5 = 7,132 \text{ Н / м.}$$

Удельная временно действующая нагрузка на трос от массы гололедных отложений:

$$\gamma_{гта} = \frac{P_{гта}}{F_T} = \frac{7,132}{88,56} = 0,081 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.8.3. Горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос, без гололеда

При грозových и внутренних перенапряжениях, температуре +15°C, ветровое давление равно  $0,06 \cdot W_0$ , но не менее 50 Па [1, п. 2.5.73].

Поскольку  $W_0 = 800$  Па, тогда  $0,06 \cdot W_0 = 0,06 \cdot 800 = 480$  Па. Принимаем ветровое давление равное 780 Па.

Нормативная и расчетная нагрузка от ветрового давления на трос, без гололедных отложений на основании формул (2.8, 2.11) определяется по выражениям:

$$P_{\text{вта}}^{\text{н}} = \alpha_{\text{в}} \cdot K_1 \cdot K_{\text{в}} \cdot C_x \cdot W_{\text{а}} \cdot F_{\text{т}} \cdot \sin^2 \varphi,$$

$$P_{\text{вта}} = P_{\text{вта}}^{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{пв}} \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot \gamma_{\text{ф}}.$$

С учетом ветрового давления 50 Па, составляющие выражений равны [1, п. 2.5.52]:

- $\alpha_{\text{в}} = 1$ ;
- при  $l_{\text{таб}} = 220$  м,  $K_1 = 1,014$ ;
- коэффициент  $K_{\text{в}}$ , при высоте расположения приведенного центра тяжести тросов  $h_{\text{т}} = 22,98$  м и для типа местности В, равен 0,867.
- $C_x = 1,2$ , для тросов диаметром менее 20 мм.

Нормативные и расчетные нагрузки от ветрового давления на трос без гололедных отложений равны:

$$P_{\text{вта}}^{\text{н}} = 1 \cdot 1,014 \cdot 0,867 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 88,56 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 4,671 \text{ Н / м.}$$

$$P_{\text{вта}} = 4,671 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 5,139 \text{ Н / м.}$$

Удельная ветровая нагрузка на трос, без гололедных отложений:

$$\gamma_{\text{вта}} = \frac{P_{\text{вта}}}{F_{\text{т}}} = \frac{5,139}{88,56} = 0,058 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.8.4. Горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос с гололедом

Площадь диаметрального сечения троса при гололеде составляет:

$$F = (d_T + 2 \cdot K_i \cdot K_d \cdot b_g) \cdot 10^{-3} = (11 + 2 \cdot 1 \cdot 1,01 \cdot 15) \cdot 10^{-3} = 0,041 \text{ м}^2.$$

Нормативная и расчетная горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос с гололедными отложениями равна:

$$P_{\text{врга}}^H = \alpha_W \cdot K_1 \cdot K_W \cdot C_x \cdot 0,25 \cdot W_0 \cdot F \cdot \sin^2 \varphi = \\ = 1 \cdot 1,014 \cdot 0,867 \cdot 1,2 \cdot 0,25 \cdot 50 \cdot 0,041 \cdot 1 = 0,541 \text{ Н / м}$$

$$P_{\text{врга}} = P_{\text{врга}}^H \cdot \gamma_{\text{тв}} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 0,541 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,595 \text{ Н / м.}$$

Удельная ветровая нагрузка на трос с гололедом:

$$\gamma_{\text{врга}} = \frac{P_{\text{врга}}}{F_T} = \frac{0,595}{88,56} = 0,007 \text{ Н / м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.8.5. Результирующие нагрузки

Суммарная вертикальная и удельная нагрузка от веса троса и веса гололедных отложений:

$$P_{\Sigma T1a} = P_T + P_{\text{рга}} = 7,37 + 7,132 = 14,502 \text{ Н / м,}$$

$$\gamma_{\Sigma T1a} = \gamma_T + \gamma_{\text{рга}} = 0,083 + 0,081 = 0,164 \text{ Н / м} \cdot \text{мм}^2.$$

Результирующая и удельная нагрузка от собственной массы троса и давления ветра:

$$P_{\Sigma T2a} = \sqrt{P_T^2 + P_{\text{врга}}^2} = \sqrt{7,37^2 + 5,139^2} = 8,985 \text{ Н / м,}$$

$$\gamma_{\Sigma T2a} = \frac{P_{\Sigma T2a}}{F_T} = \frac{8,985}{88,56} = 0,102 \text{ Н / м} \cdot \text{мм}^2.$$

Результирующая и удельная нагрузка от массы троса с гололедом и давления ветра:

$$P_{\Sigma T3a} = \sqrt{P_{\Sigma T1a}^2 + P_{\text{врга}}^2} = \sqrt{14,502^2 + 0,595^2} = 14,514 \text{ Н / м.}$$

$$\gamma_{\Sigma T3a} = \frac{P_{\Sigma T3a}}{F_T} = \frac{14,514}{88,56} = 0,164 \text{ Н / м} \cdot \text{мм}^2.$$

Результаты расчетов всех нагрузок действующих на трос приведены в приложении П.

Но основании приложения II следует: при сравнении значений результирующих нагрузок следует, что наибольшая нагрузка соответствует нагрузке от веса троса с гололедным отложением и ветровым давлением или от собственного веса троса и веса гололедного отложения:

$$\gamma_{\text{Нб}} = \gamma_{\Sigma\text{T}2\text{a}} = \gamma_{\Sigma\text{T}3\text{a}} = 0,164 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.8.6. Расчет грозозащитного троса

Промежуток между проводом и тросом не должен быть меньше требуемого расстояния [1, табл. 2.5.16].

Выбор грозозащитного троса проводится совместно с расчетом провода. Нагрузку на провод без гололедного отложения необходимо пересчитать для условий при которых возникают атмосферные перенапряжения. Нормативные и расчетные нагрузки от ветра на провод без гололеда:

$$P_{\text{wпа}}^{\text{H}} = \alpha_{\text{w}} \cdot K_1 \cdot K_{\text{w}} \cdot C_{\text{x}} \cdot W_{\text{a}} \cdot F_{\text{II}} \cdot \sin^2 \varphi = 1 \cdot 1,014 \cdot 0,867 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 15,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,802 \text{ Н / м.}$$

$$P_{\text{wпа}} = P_{\text{wпа}}^{\text{H}} \cdot \gamma_{\text{пв}} \cdot \gamma_{\text{р}} \cdot \gamma_{\text{f}} = 0,802 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,882 \text{ Н/м.}$$

Удельная ветровая нагрузка на провод, без гололеда:

$$\gamma_{\text{wпа}} = \frac{P_{\text{wпа}}}{F_{\text{пр}}} = \frac{0,882}{136,8} = 0,0065 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Тогда результирующая и удельная нагрузка от собственной массы провода и давления ветра:

$$P_{\Sigma\text{п}2\text{a}} = \sqrt{P_{\text{II}}^2 + P_{\text{wпа}}^2} = \sqrt{4,616^2 + 0,882^2} = 4,7 \text{ Н/м,}$$

$$\gamma_{\Sigma\text{п}2\text{a}} = \frac{P_{\Sigma\text{п}2\text{a}}}{F_{\text{T}}} = \frac{4,7}{136,8} = 0,034 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Угол отклонения провода от вертикальной плоскости составляет:

$$\beta = \arctg\left(\frac{\gamma_{\text{wпа}}}{\gamma_{\Sigma\text{п}2\text{a}}}\right) = \arctg\left(\frac{0,0065}{0,034}\right) = 10,82^\circ.$$

Стрела провеса провода при  $t_{\text{a}} = 15^\circ\text{C}$  равна:

$$l_{\text{пр}} = 0,9 \cdot l_{\text{раб}} = 0,9 \cdot 220 = 198 \text{ м.}$$

Уравнение состояния имеет вид (2.46):

$$f_{\text{па}}^3 + 0,375 \cdot \left(\frac{A \cdot l_{\text{пр}}^2}{E}\right) \cdot f_{\text{па}} - \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma \sum_{2\text{па}} \cdot l_{\text{пр}}^4}{E} = 0, \quad (2.46)$$

где  $A = \sigma_{\text{нб}} - \frac{\gamma_{\text{п}}^2 \cdot l_{\text{пр}}^2 \cdot E}{24 \cdot \sigma_{\text{нб}}^2} + \alpha \cdot E \cdot (t_{\text{а}} - t_{-});$

$$D = 0,375 \cdot \left(\frac{A \cdot l_{\text{пр}}^2}{E}\right);$$

$$F = \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma \sum_{2\text{па}} \cdot l_{\text{пр}}^4}{E}.$$

$$A = 135 - \frac{0,034^2 \cdot 198^2 \cdot 18,5 \cdot 10^4}{24 \cdot 135^2} + 12 \cdot 10^{-6} \cdot 18,5 \cdot 10^4 \cdot [15 - (-50)] = -28,47;$$

$$D = 0,375 \cdot \left(\frac{A \cdot l_{\text{пр}}^2}{E}\right) = 0,375 \cdot \left(\frac{(-28,47) \cdot 198^2}{18,5 \cdot 10^4}\right) = -2,26;$$

$$F = \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma \sum_{2\text{па}} \cdot l_{\text{пр}}^4}{E} = \frac{3}{64} \cdot \frac{0,034 \cdot 198^4}{18,5 \cdot 10^4} = 13,24.$$

С учетом полученных значений выражение (2.46) принимает вид:

$$f_{\text{па}}^3 - 2,26 \cdot f_{\text{па}} - 13,24 = 0.$$

Осуществим решение уравнения, методом Ньютона, используя следующую формулу (2.47):

$$f_{k+1} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f_k^3 + F/2}{f_k^2 + D/3}. \quad (2.47)$$

В первом приближении принимаем  $f_{\text{габ}} = 1,524$  м.

Результаты расчетов стрелы провеса провода при  $t_{\text{а}} = 15^{\circ}\text{C}$  приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Расчет стрелы провеса провода при  $t_{\text{а}} = 15^{\circ}\text{C}$

$f_1, \text{ м}$	$f_2, \text{ м}$	$f_3, \text{ м}$	$f_4, \text{ м}$	$f_5, \text{ м}$	$f_6, \text{ м}$	$f_7, \text{ м}$
1,524	4,316	3,246	2,782	2,686	2,682	2,682

Стрелы провеса провода при  $t_{\text{а}} = 15^{\circ}\text{C}$  составляет  $f_{\text{па}} = 2,682$  м.

Напряжение в наименьшей точке провода при  $t_{\text{а}} = 15^{\circ}\text{C}$  определяется по выражению (2.48):

$$\sigma_{\text{па}} = \frac{\gamma_{\Sigma 2\text{па}} \cdot l_{\text{пр}}^2}{8 \cdot f_{\text{па}}} \quad (2.48)$$

$$\sigma_{\text{па}} = \frac{0,034 \cdot 198^2}{8 \cdot 2,682} = 62,124 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Максимальная длина пролета может достигать:

$$l_{\text{max}} = 1,25 \cdot l_{\text{таб}} = 1,25 \cdot 220 = 275 \text{ м.}$$

Максимальная стрела провеса рассчитывается по выражению (2.49):

$$f_{\text{па max}} = f_{\text{па}} \cdot \left(\frac{l_{\text{max}}}{l_{\text{пр}}}\right)^2 \quad (2.49)$$

$$f_{\text{па max}} = 2,682 \cdot \left(\frac{275}{198}\right)^2 = 5,17 \text{ м.}$$

Вертикальная проекция максимальной стрелы (2.50):

$$f_{\text{па max}}^{\text{B}} = f_{\text{па max}} \cdot \cos \beta \quad (2.50)$$

$$f_{\text{па max}}^{\text{B}} = 5,17 \cdot \cos 10,82^\circ = 5,08 \text{ м.}$$

Стрела провисания троса при  $t_a = 15^\circ\text{C}$  и отсутствии ветра определяется по формуле (2.51):

$$f_{\text{та}} = f_{\text{п}} + h_{\text{т}} - Z_{\text{т}}, \quad (2.51)$$

где  $f_{\text{та}}$  – стрела провисания троса при  $t_a = 15^\circ\text{C}$  и отсутствии ветра, м;

$f_{\text{п}}$  – стрела провисания провода в середине пролета, м;

$h_{\text{т}}$  – расстояние по вертикали между тросом и проводом на опоре, м;

$Z_{\text{т}}$  – расстояние между тросом и проводом в середине пролета, устанавливается ПУЭ [1, табл. 2.5.16] на основании эмпирической формулы

$$Z_{\text{т}} = 4 + 0,015 \cdot (l_{\text{max}} - 200) = 4 + 0,015 \cdot (275 - 200) = 5,125 \text{ м,}$$

что удовлетворяет требованию ПУЭ [1, табл. 2.5.16], по обеспечению наименьшего расстояния между тросом и проводом по вертикали 4,24 м.

На опорах промежуточного типа гирлянда изоляторов поддерживающая, поэтому для вычисления  $h_{\text{т}}$  необходимо к разности отметок тросостойки и траверсы прибавить длину гирлянды проводника и отнять длину изолирующей составляющей. Стрела провисания троса при  $t_a = 15^\circ\text{C}$  и отсутствии ветра равна:

$$f_{\text{та}} = f_{\text{па max}}^{\text{B}} + \lambda_{\text{т}} + H_{\text{тс}} - \lambda_{\text{т}} - Z_{\text{т}} = 5,08 + 1,65 + 3 - 0,359 - 5,125 = 4,25 \text{ м.}$$

По условию исключения прорыва тросовой защиты грозowymi разрядами разность между  $f_{\text{па max}}^{\text{B}}$  и  $f_{\text{та}}$  должна составлять 1,5 м [5].

$$f_{\text{па max}}^{\text{B}} - f_{\text{та}} = 5,08 - 4,25 = 0,83 \text{ м,}$$

что не удовлетворяет условию исключения прорыва тросовой защиты грозowymi разрядами, необходимо увеличить расстояние между тросом и проводом в середине пролета с помощью установки надставки размером:

$$f_{\text{па max}}^{\text{B}} - f_{\text{та max}} = 1,5 \text{ м;}$$

$$f_{\text{та max}} = f_{\text{па max}}^{\text{B}} - 1,5 = 5,08 - 1,5 = 3,58 \text{ м,}$$

$$Z_{\text{т}} = (f_{\text{па max}}^{\text{B}} - f_{\text{та max}}) + \lambda_{\text{т}} + H_{\text{тс}} - \lambda_{\text{т}} = (5,08 - 3,58) + 1,65 + 4 - 0,359 = 6,79 \text{ м.}$$

Определение защитного угла троса в середине пролета:

$$\alpha_{\text{тв}} = \arctg \frac{D_{\text{в}}}{Z_{\text{т}}} = \arctg \frac{2,1}{6,79} = 17,19 < 25^\circ,$$

что и необходимо для эффективной защиты проводов на опоре.

Вычислим напряжение в тросе, которое обеспечивает получение  $f_{\text{та max}} = 3,58 \text{ м}$  в условиях атмосферных перенапряжений. Напряжение в тросе вычисляется для приведенного пролета  $l_{\text{пр}} = 198 \text{ м}$ :

$$f_{\text{та}} = f_{\text{та max}} \cdot \left(\frac{l_{\text{пр}}}{l_{\text{max}}}\right)^2 = 3,58 \cdot \left(\frac{198}{275}\right)^2 = 1,9 \text{ м,}$$

$$\sigma_{\text{та}} = \frac{\gamma_{\Sigma \text{т2а}} \cdot l_{\text{пр}}^2}{8 \cdot f_{\text{та}}} = \frac{0,102 \cdot 198^2}{8 \cdot 1,9} = 263,08 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Поскольку  $\sigma_{\text{та}} = 263,08 < \sigma_{\text{нб т.}} = 1770 \text{ Н/мм}^2$ , то трос марки МЗ-11-В-ОЖ-Н-Р удовлетворяет требованиям механической прочности.

## 2.9. Расчет грозозащитного троса для анкерных опор

В качестве грозозащитного троса принимаем, рихтованный, нераскручивающийся трос с оцинкованием для жестких погодных условий МЗ-11-В-ОЖ-Н-Р, смонтированного на анкерной опоре У220-1, и имеющий высоту от границы верхней траверсы до вершины тросостойки  $H_{\text{тс}} = 6,2 \text{ м}$ .

Технические данные выбранного троса приведены в приложении Н [8, табл. 1].

Длина гирлянды изоляторов на анкерной опоре составляет  $\lambda_{\text{и}} = 2,16$  м.

Изолятор, зажим и узел крепления троса имеют высоту:

$$\lambda_{\text{т}} = 0,127 \cdot 2 + 0,301 + 0,174 = 0,729 \text{ м,}$$

поскольку число изоляторов должно быть не менее двух в поддерживающем тросовом креплении [1, п. 2.5.122.].

По аналогии с пунктом 2.9, трос рассчитывается при температуре атмосферных перенапряжений  $t_a = 15$  °С.

Допустимые напряжения в тросе [8]:

$$\sigma_{\text{нб т}} = 1770 \text{ Н/мм}^2.$$

Максимальный защитный угол проводов верхней траверсы по выражению (2.45) равен:

$$\alpha_{\text{пв}} = \arctg \frac{3,5}{6,2 + 2,16 - 0,729} = 24,64^\circ.$$

Защитный угол меньше  $30^\circ$ , что удовлетворяет требованию ПУЭ [1, п. 2.5.120].

Определим нагрузки, действующие на трос.

### **2.9.1. Нагрузка от собственного веса троса**

Нагрузка от собственного веса троса совпадает с нагрузкой из пункта 2.9.1:

$$P_{\text{т}} = 7,37 \text{ Н/м,}$$

$$\gamma_{\text{т}} = 0,083 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### **2.9.2. Временно действующая нагрузка от массы гололедных отложений**

Высота приведенного центра тяжести троса на основании формулы (2.4) равна:

$$h_{\text{т}} = h_{\text{ср}} - \frac{2}{3} \cdot f = \frac{10,5 + (10,5 + 4) + (10,5 + 4 + 6,2)}{3} - \frac{2}{3} \cdot 2,3 = 13,7 \text{ м,}$$



тогда  $K_i = 1$  [1, табл. 2.5.4].

Диаметр троса составляет 11 мм, тогда  $K_d = 1,01$ .

Временно действующая нагрузка на трос от массы гололедных отложений по выражениям (2.3, 2.10) совпадает с нагрузкой из пункта 2.9.2:

$$P_{гта}^H = 10,972 \text{ Н / м},$$

$$P_{гта} = 7,132 \text{ Н / м},$$

$$\gamma_{гта} = 0,081 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.9.3. Горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос, без гололеда

По аналогии с 2.9.3, принимаем ветровое давление равное 50 Па.

Нормативная и расчетная нагрузка от ветра на трос, без гололеда на основании формул (2.8, 2.11) определяется по выражениям:

$$P_{wта}^H = \alpha_w \cdot K_l \cdot K_w \cdot C_x \cdot W_a \cdot F_T \cdot \sin^2 \varphi,$$

$$P_{wта} = P_{wта}^H \cdot \gamma_{пв} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f.$$

С учетом ветрового давления 50 Па, составляющие выражений равны [1, п. 2.5.52]:

- при  $l_{таб} = 300$  м,  $K_l = 1$ ;
- коэффициент  $K_w$ , при высоте расположения приведенного центра тяжести тросов  $h_T = 13,07$  м и для типа местности В, равен 0,65;
- значение остальных коэффициентов взято из п. 2.9.3.

Нормативные и расчетные нагрузки от ветра на трос без гололеда равны:

$$P_{wта}^H = 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 88,56 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 3,454 \text{ Н / м}.$$

$$P_{wта} = 3,454 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 3,799 \text{ Н / м}.$$

Удельная ветровая нагрузка на трос, без гололеда:

$$\gamma_{wта} = \frac{P_{wта}}{F_T} = \frac{3,799}{88,56} = 0,043 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

#### 2.9.4. Горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос с гололедом

Площадь диаметрального сечения троса при гололеде из п. 2.9.4. составляет:

$$F = 0,041 \text{ м}^2.$$

Нормативная и расчетная горизонтальная нагрузка от давления ветра на трос с гололедом равна:

$$\begin{aligned} P_{\text{вгга}}^{\text{н}} &= \alpha_{\text{в}} \cdot K_1 \cdot K_{\text{в}} \cdot C_x \cdot 0,25 \cdot W_0 \cdot F \cdot \sin^2 \varphi = \\ &= 1 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1,2 \cdot 0,25 \cdot 50 \cdot 0,041 \cdot 1 = 0,399 \text{ Н/м}, \\ P_{\text{вгга}} &= P_{\text{вгга}}^{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{тв}} \cdot \gamma_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{ф}} = 0,399 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,44 \text{ Н/м}. \end{aligned}$$

Удельная ветровая нагрузка на трос с гололедом:

$$\gamma_{\text{вгга}} = \frac{P_{\text{вгга}}}{F_{\text{т}}} = \frac{0,44}{88,56} = 0,005 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

#### 2.9.5. Результирующие нагрузки

Суммарная вертикальная и удельная нагрузка от массы троса и массы гололеда:

$$P_{\Sigma \text{т1а}} = P_{\text{т}} + P_{\text{гга}} = 7,37 + 7,132 = 14,502 \text{ Н/м},$$

$$\gamma_{\Sigma \text{т1а}} = \gamma_{\text{т}} + \gamma_{\text{гга}} = 0,083 + 0,081 = 0,164 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Результирующая и удельная нагрузка от собственной массы троса и давления ветра:

$$P_{\Sigma \text{т2а}} = \sqrt{P_{\text{т}}^2 + P_{\text{вгга}}^2} = \sqrt{7,37^2 + 3,799^2} = 8,292 \text{ Н/м},$$

$$\gamma_{\Sigma \text{т2а}} = \frac{P_{\Sigma \text{т2а}}}{F_{\text{т}}} = \frac{8,292}{88,56} = 0,094 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Результирующая и удельная нагрузка от массы троса с гололедом и давления ветра:

$$P_{\Sigma \text{т3а}} = \sqrt{P_{\Sigma \text{т1а}}^2 + P_{\text{вгга}}^2} = \sqrt{14,502^2 + 0,44^2} = 14,509 \text{ Н/м}.$$

$$\gamma_{\Sigma T3a} = \frac{P_{\Sigma T3a}}{F_T} = \frac{14,509}{88,56} = 0,164 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Результаты расчетов всех нагрузок действующих на трос приведены в приложении Р.

Согласно приложению Р: при сравнении значений результирующих нагрузок следует, что наибольшая нагрузка соответствует нагрузке от массы троса с гололедом и давлением ветра или от собственной массы троса и массы гололеда:

$$\gamma_{нб} = \gamma_{\Sigma T2a} = \gamma_{\Sigma T3a} = 0,164 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

### 2.9.6. Расчет грозозащитного троса

Промежуток между проводом и тросом не должен быть меньше требуемого расстояния [1, табл. 2.5.16].

Вычисление грозозащитного троса осуществляется совместно с вычислением проводника. По аналогии с грозотросом для промежуточной опоры п. 2.9.6., нормативные и расчетные нагрузки от ветрового воздействия на провод без гололедных образований при атмосферных перенапряжениях для анкерной опоры:

$$P_{\text{впа}}^H = 0,802 \text{ Н / м.}$$

$$P_{\text{впа}} = 0,882 \text{ Н/м.}$$

Удельная ветровая нагрузка на провод, без гололеда:

$$\gamma_{\text{впа}} = 0,0065 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Тогда результирующая и удельная нагрузка от собственного веса проводника и ветрового воздействия:

$$P_{\Sigma п2a} = 4,7 \text{ Н/м,}$$

$$\gamma_{\Sigma п2a} = 0,034 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Угол отклонения провода от вертикальной плоскости составляет:

$$\beta = \arctg\left(\frac{\gamma_{\text{впа}}}{\gamma_{\Sigma \text{на}}}\right) = \arctg\left(\frac{0,0065}{0,034}\right) = 10,82^\circ.$$

Стрела провисания провода при температуре  $t_a = 15^\circ\text{C}$  равна:

$$l_{\text{пр}} = 0,9 \cdot l_{\text{габ}} = 0,9 \cdot 300 = 270 \text{ м.}$$

Уравнение состояния в комбинированной форме имеет вид (2.46):

$$f_{\text{па}}^3 - 6,64 \cdot f_{\text{па}} - 45,78 = 0,$$

где 
$$A = 135 - \frac{0,034^2 \cdot 270^2 \cdot 18,5 \cdot 10^4}{24 \cdot 135^2} + 12 \cdot 10^{-6} \cdot 18,5 \cdot 10^4 \cdot [15 - (-50)] = -44,94;$$

$$D = 0,375 \cdot \left(\frac{A \cdot l_{\text{пр}}^2}{E}\right) = 0,375 \cdot \left(\frac{(-44,94) \cdot 270^2}{18,5 \cdot 10^4}\right) = -6,64;$$

$$F = \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma_{\Sigma \text{на}} \cdot l_{\text{пр}}^4}{E} = \frac{3}{64} \cdot \frac{0,034 \cdot 270^4}{18,5 \cdot 10^4} = 45,78.$$

Осуществим решение уравнения, методом Ньютона, используя формулу (2.47).

В первом приближении принимаем  $f_{\text{габ}} = 2,3 \text{ м.}$

Результаты расчетов стрелы провисания провода при температуре  $15^\circ\text{C}$  приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты расчета стрелы провисания провода при  $t_a = 15^\circ\text{C}$

$f_1, \text{ м}$	$f_2, \text{ м}$	$f_3, \text{ м}$	$f_4, \text{ м}$	$f_5, \text{ м}$	$f_6, \text{ м}$	$f_7, \text{ м}$
2,3	7,596	5,541	4,517	4,217	4,191	4,191

Стрелы провисания провода при  $t_a = 15^\circ\text{C}$   $f_{\text{па}} = 4,191 \text{ м.}$

Напряжение в низшей точке провода при  $t_a = 15^\circ\text{C}$  по выражению (2.48):

$$\sigma_{\text{па}} = \frac{0,034 \cdot 270^2}{8 \cdot 4,191} = 73,926 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Максимальная длина пролета может достигать:

$$l_{\text{max}} = 1,25 \cdot l_{\text{габ}} = 1,25 \cdot 270 = 337,5 \text{ м.}$$

Максимальная стрела провисания провода по (2.49):

$$f_{\text{па max}} = 4,191 \cdot \left(\frac{337,5}{270}\right)^2 = 6,55 \text{ м.}$$

Вертикальная проекция максимальной стрелы составляет (2.50):

$$f_{\text{па max}}^B = 6,55 \cdot \cos 10,82^\circ = 6,43 \text{ м.}$$

Расстояние между тросом и проводом в середине пролета, на основании эмпирической формулы:

$$Z_T = 4 + 0,015 \cdot (l_{\text{max}} - 200) = 4 + 0,015 \cdot (337,5 - 200) = 6,063 \text{ м,}$$

что удовлетворяет требованию ПУЭ [1, табл. 2.5.16], по обеспечению наименьшего расстояния между тросом и проводом по вертикали 5 м.

На опорах анкерного типа гирлянда изоляторов натяжная, поэтому для определения  $h_T$  необходимо к разности отметок тросостойки и траверсы добавить длину гирлянды провода и вычесть длину гирлянды изоляторов. Стрела провисания троса при  $t_a = 15^\circ \text{C}$  и отсутствии ветра по выражению (2.51) равна:

$$f_{\text{та}} = f_{\text{па max}}^B + \lambda_{\text{п}} + H_{\text{тс}} - \lambda_{\text{т}} - Z_T = 6,43 + 2,16 + 6,2 - 0,729 - 6,063 = 7,998 \text{ м.}$$

По условию исключения прорыва тросовой защиты грозowymi разрядами разность между  $f_{\text{па max}}^B$  и  $f_{\text{та}}$  должна составлять 1,5 м [5].

$$f_{\text{па max}}^B - f_{\text{та}} = 6,43 - 7,998 = -1,568 \text{ м,}$$

что не удовлетворяет условию исключения прорыва тросовой защиты грозowymi разрядами, необходимо увеличить расстояние между тросом и проводом в середине пролета с помощью установки надставки размером:

$$f_{\text{па max}}^B - f_{\text{та max}} = 1,5 \text{ м,}$$

$$f_{\text{та max}} = f_{\text{па max}}^B - 1,5 = 6,43 - 1,5 = 4,93 \text{ м,}$$

$$Z_T = (f_{\text{па max}}^B - f_{\text{та max}}) + \lambda_{\text{п}} + H_{\text{тс}} - \lambda_{\text{т}} = (6,43 - 4,93) + 2,16 + 6,2 - 0,729 = 9,13 \text{ м.}$$

Проверка защитного угла троса в середине пролета:

$$\alpha_{\text{пв}} = \arctg \frac{D_B}{Z_T} = \arctg \frac{3,5}{9,13} = 20,97 < 25^\circ,$$

что необходимо для эффективной защиты проводов на опоре.

Вычислим напряжение в тросе, которое обеспечивает получение  $f_{\text{та max}} = 4,93$  м в условиях атмосферных перенапряжений. Напряжение в тросе вычисляется для приведенного пролета  $l_{\text{пр}} = 270$  м:

$$f_{\text{та}} = f_{\text{та max}} \cdot \left(\frac{l_{\text{пр}}}{l_{\text{max}}}\right)^2 = 4,93 \cdot \left(\frac{270}{337,5}\right)^2 = 3,16 \text{ м},$$

$$\sigma_{\text{та}} = \frac{\gamma_{\Sigma \text{та}} \cdot l_{\text{пр}}^2}{8 \cdot f_{\text{та}}} = \frac{0,094 \cdot 270^2}{8 \cdot 3,16} = 271,07 \text{ Н/м} \cdot \text{мм}^2.$$

Поскольку  $\sigma_{\text{та}} = 271,07 < \sigma_{\text{нб т}} = 1770 \text{ Н/мм}^2$ , то трос марки МЗ-11-В-ОЖ-Н-Р удовлетворяет требованиям механической прочности.

## 2.10. Определение нагрузок, действующих на фундамент опоры

Силы, действующие на опору и их основание, называются нагрузками. Все нагрузки по времени воздействия делятся на постоянные и временные.

Постоянные нагрузки оказывают воздействие на опору в течение длительного неограниченного времени.

Временные нагрузки оказывают воздействие на опору в течение ограниченного времени.

Пользуясь результатами расчетов, проведенными ранее, найдем нагрузки, влияющие как на анкерные опоры так и на промежуточные в нормальном режиме работы воздушной линии электропередач.

### 2.10.1. Нагрузки, действующие на промежуточную опору

1) Постоянные нагрузки:

а) От собственного веса опоры

Нагрузка от собственного веса опоры определяется по выражению (2.52):

$$P_{\text{оп}} = m \cdot g, \quad (2.52)$$

где  $P_{\text{оп}}$  – нагрузка от собственного веса опоры, Н;

$m$  – масса опоры, кг;

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

$$P_{\text{оп}} = 4,56 \cdot 9,8 = 44,688 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

б) От собственного веса гирлянды изоляторов

Нагрузка от собственного веса гирлянды изоляторов рассчитывается согласно формуле (2.53):

$$G_{\text{гп}} = n_{\text{г}} \cdot G_{\text{г}} \cdot g, \quad (2.53)$$

где  $G_{\text{гп}}$  – нагрузка от собственного веса гирлянды изоляторов, Н;

$n_{\text{г}}$  – количество изоляционных гирлянд на опоре;

$G_{\text{г}}$  – масса одной изоляционной гирлянды, кг.

$$G_{\text{гп}} = 3 \cdot 84,45 \cdot 9,8 = 2,48 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

с) От собственного веса провода в весовом пролете

Нагрузка от собственного веса провода в весовом пролете с учетом двух цепей и трехфазной системы определяется по формуле (2.54):

$$P_{\text{п}} = n_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ф}} \cdot p_{\text{п}} \cdot l_{\text{вес}}, \quad (2.54)$$

где  $P_{\text{п}}$  – нагрузка от собственного веса проводника в весовом пролете, Н;

$n_{\text{ц}}$  – количество цепей;

$n_{\text{ф}}$  – количество фаз в системе;

$p_{\text{п}}$  – действующая нагрузка на протяжении всего времени от собственного веса провода, Н/м.

$$P_{\text{п}} = 1 \cdot 3 \cdot 11,09 \cdot 325 = 10,813 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

д) От собственного веса троса в весовом пролете

Нагрузка от собственного веса троса в весовом пролете рассчитывается по следующему выражению (2.55):

$$P_{\text{т}} = p_{\text{т}} \cdot l_{\text{вес}}, \quad (2.55)$$

где  $P_{\text{т}}$  – нагрузка от собственного веса троса в весовом пролете, Н;

$p_{\text{т}}$  – нагрузка от собственного веса троса, Н/м.

$$P_{\text{т}} = 7,37 \cdot 325 = 2,03 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Суммарная постоянная нагрузка, действующая на промежуточную опору, составляет:

$$P_{\Sigma \text{пост}} = P_{\text{оп}} + G_{\text{гп}} + P_{\text{п}} + P_{\text{т}} = 24,2 + 5,99 + 3,81 + 2,03 = 36,03 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

2) Кратковременные нагрузки

а) От давления ветра на провод без гололеда

Нагрузка от давления ветра на провод без гололеда при направлении ветра перпендикулярно к оси провода определяется по выражению (2.56):

$$P_{\text{вп}} = n_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ф}} \cdot p_{\text{вп}} \cdot l_{\text{вес}}, \quad (2.56)$$

где  $P_{\text{вп}}$  – нагрузка от давления ветра на провод без гололеда, Н;

$p_{\text{вп}}$  – временно действующая нагрузка на проводник от воздействия ветра без гололедных образований, Н/м.

$$P_{\text{вп}} = 1 \cdot 3 \cdot 17,741 \cdot 325 = 17,3 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

б) От давления ветра на трос без гололеда:

Нагрузка от ветрового воздействия на трос без гололедных образований определяется по следующей формуле (2.57):

$$P_{\text{вт}} = p_{\text{вта}} \cdot l_{\text{вес}}, \quad (2.57)$$

где  $P_{\text{вт}}$  – нагрузка от ветрового воздействия на трос без гололедных образований, Н;

$p_{\text{вта}}$  – временно действующая нагрузка на трос от ветрового давления без гололедных отложений, Н/м.

$$P_{\text{вт}} = 5,139 \cdot 275 = 1,41 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

с) От веса гололеда на провод

Нагрузка на провод от веса гололедных образований рассчитывается по выражению (2.58):

$$P_{\text{гп}} = n_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ф}} \cdot p_{\text{гп}} \cdot l_{\text{вес}}, \quad (2.58)$$

где  $P_{\text{гп}}$  – нагрузка на провод от веса гололедных образований, Н;



$p_{\text{гп}}$  – временно действующая нагрузка на провод от веса гололедных образований, Н/м.

$$P_{\text{гп}} = 1 \cdot 3 \cdot 12,902 \cdot 325 = 12,58 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

д) От веса гололедных образований на трос

Нагрузка на трос от массы гололеда рассчитывается по выражению (2.59):

$$P_{\text{гт}} = p_{\text{гта}} \cdot l_{\text{вес}}, \quad (2.59)$$

где  $P_{\text{гт}}$  – нагрузка на трос от массы гололедных образований, Н;

$p_{\text{гп}}$  – временно действующая нагрузка на трос от массы гололедных отложений, Н/м.

$$P_{\text{гт}} = 7,132 \cdot 325 = 1,96 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

е) От давления ветра на конструкцию опоры

Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки определяется по выражению (2.60):

$$Q_c^H = K_w \cdot W \cdot C_x \cdot A, \quad (2.60)$$

где  $Q_c^H$  – нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки, действующая на опору, Н;

$K_w$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности, для местности В коэффициент равен 0,88 [1, табл. 2.5.2];

$C_x$  – коэффициент лобового сопротивления, равен 1,2 для проводов диаметром менее 20 мм [1, п. 2.5.52];

$W_0$  – нормативное ветровое давление, Па, для III района по ветровому давлению  $W_0 = 8950$  Па;

$A$  – площадь проекции опоры по наружному обмеру с наветренной стороны,  $\text{м}^2$ , определяется на основании характеристик выбранной опоры.

Промежуточная опора П220–3 имеет [4, табл. 1.36]:

- ширина опоры в основании закрепления к фундаменту– 3,99 м.

- высота опоры от нижнего пояса опоры до места крепления траверсы – 22,5 м.
- высота опоры от крепления нижней траверсы до верха тросостойки – 10 м.
- ширина ствола опоры от крепления нижней траверсы до верха тросостойки – 1,2 м.

Площадь проекции конструкции по наружному обмеру с наветренной стороны на плоскость:

$$A = 2,8 \cdot 19 + 9 \cdot 1,2 = 64 \text{ м}^2.$$

Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки:

$$Q_c^H = 0,82 \cdot 650 \cdot 1,2 \cdot 64 = 40,93 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная пульсационная составляющая ветровой нагрузки определяется по формуле (2.61):

$$Q_{II}^H = 0,6 \cdot Q_c^H. \quad (2.61)$$

$$Q_{II}^H = 0,6 \cdot 40,93 = 24,56 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Суммарная нагрузка от ветрового воздействия рассчитывается по следующему выражению (2.62):

$$Q_{\Sigma} = (Q_{II}^H + Q_c^H) \cdot \gamma_{IIW} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f, \quad (2.62)$$

где  $\gamma_{IIW}$  – коэффициент надежности по ответственности, принимаем равным 1 для воздушных линий до 220 кВ [1, п. 2.5.55];

$\gamma_p$  – региональный коэффициент, принимаем равным 1 [1, п. 2.5.55];

$\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке с образованием гололедного нароста, равен 1,3 [1, п. 2.5.55].

$$Q_{\Sigma} = (24,56 + 40,93) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 85,14 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Суммарная кратковременная нагрузка, действующая на промежуточную опору, составляет:

$$P_{\Sigma \text{кр}} = P_{WH} + P_{WT} + P_{TH} + P_{TT} + Q_{\Sigma} = 6,18 + 1,41 + 6,73 + 1,96 + 85,14 = 101,42 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Суммарная нагрузка, действующая на промежуточную опору, составляет:

$$P_{\Sigma \text{ПР}} = P_{\Sigma \text{пост}} + P_{\Sigma \text{кр}} = 36,03 + 101,42 = 137,45 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

### 2.10.2. Нагрузки, действующие на анкерную опору

1) Постоянные нагрузки:

а) От собственного веса опоры

Нагрузка от собственного веса опоры на основании формулы (2.52):

$$P_{\text{оп}} = m \cdot g = 5,04 \cdot 9,8 = 49,39 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

б) От собственного веса гирлянды изоляторов

Нагрузка от собственного веса гирлянды изоляторов согласно (2.53):

$$G_{\text{ГИ}} = n_{\text{Г}} \cdot G_{\text{Г}} \cdot g = 17 \cdot 74,18 \cdot 9,8 = 12,36 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

с) От собственного веса провода в весовом пролете

Нагрузка от собственного веса провода в весовом пролете с учетом двух цепей и трехфазной системы согласно (2.54):

$$P_{\text{П}} = n_{\text{Ц}} \cdot n_{\text{ф}} \cdot p_{\text{П}} \cdot l_{\text{вес}} = 1 \cdot 3 \cdot 4,616 \cdot 1,25 \cdot 300 = 5,19 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

д) От собственного веса троса в весовом пролете

Нагрузка от собственного веса троса в весовом пролете на основании выражения (2.55):

$$P_{\text{Т}} = p_{\text{Т}} \cdot l_{\text{вес}} = 7,37 \cdot 1,25 \cdot 300 = 2,8 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

е) Сила от тяжения провода

Нагрузка от тяжения провода определяется по следующему выражению (2.63):

$$\Delta T_{\text{П}} = 3 \cdot \sigma_{\text{нб}} \cdot F_{\text{пр}}, \quad (2.63)$$

где  $\Delta T_{\text{П}}$  – сила тяжения провода, Н.

$$\Delta T_{\text{П}} = 3 \cdot 135 \cdot 136,8 = 55,4 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

ф) Сила от тяжения троса

Нагрузка от тяжения троса определяется по следующей формуле (2.64):

$$\Delta T_T = \sigma_{\text{нбт}} \cdot F_T, \quad (2.64)$$

где  $\Delta T_T$  – сила тяжения троса, Н.

$$\Delta T_T = 1770 \cdot 88,56 = 156,75 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Суммарная постоянная нагрузка, действующая на анкерную опору, составляет:

$$P_{\Sigma \text{пост}} = P_{\text{оп}} + G_{\text{гп}} + P_{\text{п}} + P_T + \Delta T_{\text{п}} + \Delta T_T,$$

$$P_{\Sigma \text{пост}} = 49,39 + 12,36 + 5,19 + 2,8 + 55,4 + 156,75 = 281,89 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

## 2) Кратковременные нагрузки

### а) От давления ветра на провод без гололеда

Нагрузка от воздействия ветра на провод без гололедных образований при направлении ветра перпендикулярно к оси провода по формуле (2.56):

$$P_{\text{вп}} = n_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ф}} \cdot p_{\text{вп}} \cdot l_{\text{вес}} = 1 \cdot 3 \cdot 7,486 \cdot 1,25 \cdot 300 = 8,42 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

### б) От давления ветра на трос без гололеда

Нагрузка от ветрового воздействия на трос без гололедных образований определяется согласно (2.57):

$$P_{\text{вт}} = p_{\text{вта}} \cdot l_{\text{вес}} = 5,139 \cdot 1,25 \cdot 300 = 1,93 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

### в) От веса гололеда на провод

Нагрузка на провод от веса гололедных образований на основании выражения (2.58):

$$P_{\text{гп}} = n_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ф}} \cdot p_{\text{гп}} \cdot l_{\text{вес}} = 1 \cdot 3 \cdot 8,159 \cdot 1,25 \cdot 300 = 9,18 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

### г) От веса гололедных отложений на тросе

Нагрузка на трос от веса гололедных отложений определяется согласно (2.57):

$$P_{\text{гт}} = p_{\text{гта}} \cdot l_{\text{вес}} = 7,132 \cdot 1,25 \cdot 300 = 2,67 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

### е) От ветрового воздействия на конструкцию опоры

Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки определяется по формуле (2.58).

Анкерная опора У220-1 имеет [4. табл.1.36]:

- ширина опоры по ее основанию – 4,8 м.
- высота опоры от основания до нижней траверсы – 10,5 м.
- высота опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки – 10,2 м.
- ширина ствола опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки – 1,5 м.

Площадь проекции конструкции по наружному обмеру с наветренной стороны на плоскость:

$$A = 4,8 \cdot 10,5 + 10,2 \cdot 1,5 = 65,7 \text{ м}^2.$$

Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки:

$$Q_c^H = 0,82 \cdot 650 \cdot 1,2 \cdot 65,7 = 42,02 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная пульсационная составляющая ветровой нагрузки по выражению (2.61):

$$Q_{II}^H = 0,6 \cdot 42,02 = 25,21 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Суммарная нагрузка от давления ветра согласно формуле (2.62):

$$Q_{\Sigma} = (42,02 + 25,21) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 87,4 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Суммарная кратковременная нагрузка, действующая на анкерную опору, составляет:

$$P_{\Sigma \text{кр}} = P_{\text{вп}} + P_{\text{вт}} + P_{\text{гп}} + P_{\text{гт}} + Q_{\Sigma} = 8,42 + 1,93 + 9,18 + 2,67 + 87,4 = 109,6 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Суммарная нагрузка, действующая на анкерную опору, составляет:

$$P_{\Sigma \text{АН}} = P_{\Sigma \text{пост}} + P_{\Sigma \text{кр}} = 281,89 + 109,6 = 391,49 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

## 2.11. Расчет грибовидного фундамента-подножника

Произведем расчет грибовидного фундамента-подножника для промежуточной и анкерной опоры.

Грунт представляет собой суглинок с показателем консистенции  $J_L = 0,45$  и коэффициентом пористости  $e = 0,55$ . Для грунта с данными показателем консистенции и коэффициентом пористости [9]:

- нормативное значение модуля деформации  $E = 25000 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ ;
- нормативный угол внутреннего трения  $\varphi^H = 23^\circ$ ;
- нормативное удельное сцепление грунта  $c^H = 34 \text{ Н} \cdot 10^3/\text{м}^2$ .

### **2.11.1. Расчет грибовидного фундамента для промежуточной опоры**

Под промежуточную опору П220-3 намечаем фундамент марки Ф2-2. Технические данные выбранного фундамента приведены в таблице Л.1 приложения Л [4, табл.1.18].

Сжимающая нагрузка, действующая на грибовидный фундамент промежуточной опоры П220-3, соответствует сумме постоянных и кратковременных нормальных нагрузок, действующих на опору, и равна расчетной вырывающей нагрузке:

$$N_B^P = P_{\Sigma \text{ПР}} = 137,45 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная вырывающая нагрузка равна итоговой сумме постоянных нагрузок, действующих на опору:

$$N_B^H = P_{\Sigma \text{пост}} = 36,03 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Давление на грунт основания подножника, рассчитанное из условий предельных деформаций основания в нормальном режиме работы линии для  $E = 25000 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$  при размере стороны квадратной опорной плиты  $a = 1,5 \text{ м}$  и глубине заложения фундамента  $h_{\text{ф}}=2,5 \text{ м}$ . Давление на грунт основания подножника:  $R_S = 378 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$  [5, табл. 2.14].

Для промежуточной опоры, устанавливаемой в суглинок с показателем консистенции  $J_L = 0,45$ , с относительным заглублением  $h/a = 2,7/1,5 = 1,8$  объемным весом грунта обратной засыпки при

механическом уплотнении  $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3$  даН/м<sup>3</sup>, расчетное давление  $R_3 = 60 \cdot 10^3$  Н/м<sup>2</sup> [5, табл. 2.8].

Коэффициент бокового расширения  $\mu = 0,6$ ; коэффициент безопасности по грунту для угла внутреннего трения  $k_\Gamma = 1,1$ , а для суглинка с  $J_L > 0,25$   $k_\Gamma = 3,3$  по [5, табл. 2.13].

Угол внутреннего трения обратной засыпки определяется по выражению (2.65):

$$\varphi_0 = \mu \cdot \frac{\varphi^H}{k_\Gamma}. \quad (2.65)$$

$$\varphi_0 = 0,6 \cdot \frac{23}{1,1} = 12,55^\circ.$$

Удельное сцепление грунта обратной засыпки рассчитывается по формуле (2.66):

$$c_0 = \mu \cdot \frac{c^H}{k_\Gamma}. \quad (2.66)$$

$$c_0 = 0,6 \cdot \frac{34}{3,3} = 6,18 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2.$$

Для прямой промежуточной опоры коэффициент надежности  $k_H = 1$  [5, табл. 2.7].

Выполним расчеты для установления соответствия выбранного грунта необходимым параметрам:

#### 1) Расчет на сжатие (по деформациям)

Требование расчета заключается в ограничении вертикальной осадки, среднее давление по подошве фундамента не должно превышать расчетного давления на основание (2.67):

$$\sigma_{\text{ср}} \leq R_S. \quad (2.67)$$

Среднее давление по подошве фундамента определяется по следующему выражению (2.68):

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{N_B^P}{F^2} + \gamma_3 \cdot h_\Phi, \quad (2.68)$$

где  $\sigma_{\text{ср}}$  – среднее давление по подошве фундамента, Н/м<sup>2</sup>;

$F$  – площадь фундамента, м<sup>2</sup>.

Среднее давление по подошве фундамента:

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{137,45}{1,5^2} + 17 \cdot 2,5 = 103,6 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2.$$

На основании неравенства (2.67) получаем:

$$103,6 < 378 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2,$$

следовательно, условие расчета по деформациям на сжатие соблюдается, и вертикальная осадка фундамента Ф2-2 находится в допустимых пределах.

## 2) Расчет на вырывание

Удовлетворение фундамента по условию вырывающей нагрузки определяется по следующему неравенству (2.69):

$$N_{\text{в}}^{\text{н}} \leq m \cdot R_3 \cdot F^2 + G_{\text{ф}}. \quad (2.69)$$

Для осуществления проверки на вырывание необходимо рассчитать коэффициент условия работы (2.70):

$$m = m_{\text{гр}} \cdot m_0 \cdot m_{\text{с}}, \quad (2.70)$$

где  $m$  – коэффициент условия работы;

$m_{\text{гр}}$  – коэффициент грунта,  $m_{\text{гр}} = 1$ ;

$m_0$  – коэффициент опоры, зависит от ширины опоры, при  $b = 2,8$  м  $m_0 = 1,024$ ;

$m_{\text{с}}$  – коэффициент сочетаний, зависит от режима работы ВЛ. В нормальном режиме работы  $m_{\text{с}} = 1$ .

Коэффициент условия работы:

$$m = 1 \cdot 1,024 \cdot 1 = 1,024.$$

Вырывающая нагрузка, действующая на фундамент:

$$m \cdot R_3 \cdot F^2 + G_{\text{ф}} = 1,024 \cdot 60 \cdot 1,5^2 + 2,4 = 139,64 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

На основании неравенства (2.69) получаем:

$$36,03 < 139,64 \text{ Н} \cdot 10^3,$$



таким образом, фундамент марки Ф2-2 удовлетворяет условию расчета по деформациям на вырывание.

### 3) Расчет по несущей способности

Расчет анкерной плиты по устойчивости (несущей способности) производится по формуле (2.71):

$$N_B^p \leq \frac{1}{k_H} \cdot (N_\phi + 0,9 \cdot G_\phi), \quad (2.71)$$

где  $k_H$  – коэффициент надежности,  $k_H = 1$  [5, табл. 2.7]

$N_\phi$  – сопротивление вырыванию, Н, определяется по следующему выражению (2.72):

$$N_\phi = V_\phi \cdot \gamma_3 + c_0 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \Sigma \omega_\phi, \quad (2.72)$$

где  $V_\phi$  – объем обелиска грибовидного фундамента-подножника, м<sup>3</sup>;

$\Sigma \omega_\phi$  – суммарная площадь боковых поверхностей фундамента, м<sup>2</sup>.

Объем обелиска грибовидного фундамента-подножника рассчитывается по выражению (2.73):

$$V_\phi = \frac{h_\phi}{6} \cdot [(2 \cdot a_1 + a) \cdot a_1 + (2 \cdot a + a_1) \cdot a], \quad (2.73)$$

где  $a_1 = a + 2 \cdot h_\phi \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 = 1,5 + 2 \cdot 2,5 \cdot \operatorname{tg} 12,55^\circ = 2,6$  м.

Суммарная площадь боковых поверхностей фундамента определяется по формуле (2.74):

$$\Sigma \omega_\phi = 2 \cdot h_\phi \cdot (a + a_1). \quad (2.74)$$

Объем обелиска грибовидного фундамента-подножника:

$$V_\phi = \frac{2,5}{6} \cdot [(2 \cdot 2,6 + 1,5) \cdot 2,6 + (2 \cdot 1,5 + 2,6) \cdot 1,5] = 10,76 \text{ м}^3.$$

Суммарная площадь боковых поверхностей фундамента:

$$\Sigma \omega_\phi = 2 \cdot 2,5 \cdot (1,5 + 2,6) = 20,5 \text{ м}^2.$$

Сопротивление вырыванию:

$$N_\phi = 10,76 \cdot 17 + 6,18 \cdot 20,5 \cdot \cos 12,55^\circ = 306,58 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Правая часть неравенства (2.71):

$$\frac{1}{k_H} \cdot (N_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi}) = \frac{1}{1} \cdot (306,58 + 0,9 \cdot 2,4) = 308,74 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

На основании неравенства (2.1) получаем:

$$137,45 < 308,74 \cdot 10^3 \text{ Н,}$$

следовательно, фундамент марки Ф2-2 удовлетворяет условию расчета по несущей способности.

### **2.11.2. Расчет грибовидного фундамента для анкерной опоры**

Под анкерную опору У220-1 намечаем фундамент марки Ф4-АМ. Технические данные выбранного фундамента приведены в таблице Л.2 приложения Л [4, табл. 1.19].

Сжимающая нагрузка, действующая на грибовидный фундамент анкерной опоры У220-1, соответствует сумме постоянных и кратковременных нормальных нагрузок, действующих на опору, и равна расчетной вырывающей нагрузке:

$$N_B^P = P_{\Sigma \text{АН}} = 391,49 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Нормативная вырывающая нагрузка равна итоговой сумме постоянных нагрузок, действующих на опору:

$$N_B^H = P_{\Sigma \text{пост}} = 281,89 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Давление на грунт основания подножника, рассчитанное из условий предельных деформаций основания в нормальном режиме работы линии для  $E = 25000 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$  при размере стороны квадратной опорной плиты  $a = 2,4 \text{ м}$  и глубине заложения фундамента  $h_{\phi} = 3 \text{ м}$ . Давление на грунт основания подножника:  $R_S = 236 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$  [5, табл. 2.14].

Для промежуточной опоры, устанавливаемой в суглинок с показателем консистенции  $J_L = 0,45$ , с относительным заглублением  $h/a = 3,1/2,4 = 1,3$  объемным весом грунта обратной засыпки при

механическом уплотнении  $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3$  даН/м<sup>3</sup>, расчетное давление  $R_3 = 46 \cdot 10^3$  Н/м<sup>2</sup> [5, табл. 2.8].

Коэффициент бокового расширения  $\mu = 0,6$ ; коэффициент безопасности по грунту для угла внутреннего трения  $k_r = 1,1$ , а для суглинка с  $J_L > 0,25$   $k_r = 3,3$  по [5, табл. 2.13].

Угол внутреннего трения обратной засыпки для анкерной опоры, согласно выражению (2.65), совпадает с углом внутреннего трения засыпки для промежуточной опоры:

$$\varphi_0 = 12,55^\circ.$$

Удельное сцепление грунта обратной засыпки для анкерной опоры по выражению (2.66) совпадает с удельным сцеплением грунта обратной засыпки для промежуточной опоры:

$$c_0 = 6,18 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2.$$

Для анкерно-угловой опоры коэффициент надежности  $k_n = 1,3$  [5, табл. 2.7].

Выполним расчеты для установления соответствия выбранного грунта необходимым параметрам:

1) Расчет на сжатие (по деформациям)

Для анкерной опоры среднее давление по подошве фундамента на основании формулы (2.68) составляет:

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{391,49}{2,4^2} + 17 \cdot 3 = 118,97 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2.$$

На основании неравенства (2.67) получаем:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ср}} &\leq R_S; \\ 118,97 &< 236 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2. \end{aligned}$$

следовательно, условие расчета по деформациям на сжатие соблюдается, и вертикальная осадка фундамента Ф4-АМ находится в допустимых пределах.

2) Расчет на вырывание

Коэффициент условия работы по формуле (2.70):

$$m = 1 \cdot 1,184 \cdot 1 = 1,184.$$

Вырывающая нагрузка, действующая на фундамент:

$$m \cdot R_3 \cdot F^2 + G_{\phi} = 1,184 \cdot 46 \cdot 2,4^2 + 6,0 = 319,7 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2.$$

На основании неравенства (2.69) получаем:

$$N_B^H \leq m \cdot R_3 \cdot F^2 + G_{\phi};$$

$$281,89 < 319,7 \cdot 10^3 \text{ Н/м}.$$

таким образом, фундамент марки Ф4-АМ удовлетворяет условию расчета по деформациям на вырывание.

3) Расчет по несущей способности

Объем обелиска грибовидного фундамента-подножника (2.73):

$$a_1 = a + 2 \cdot h_{\phi} \cdot \text{tg } \varphi_0 = 2,4 + 2 \cdot 3 \cdot \text{tg } 12,55^\circ = 3,74;$$

$$V_{\phi} = \frac{3}{6} \cdot [(2 \cdot 3,74 + 2,4) \cdot 3,74 + (2 \cdot 2,4 + 3,74) \cdot 2,4] = 28,72 \text{ м}^3.$$

Суммарная площадь боковых поверхностей фундамента по выражению (2.74):

$$\Sigma \omega_{\phi} = 2 \cdot 3 \cdot (2,4 + 3,74) = 36,84 \text{ м}^2.$$

Сопротивление вырыванию согласно формуле (2.72):

$$N_{\phi} = 28,72 \cdot 17 + 6,18 \cdot 36,84 \cdot \cos 12,55^\circ = 710,47 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2.$$

Правая часть неравенства (2.71):

$$\frac{1}{k_H} \cdot (N_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi}) = \frac{1}{1,3} \cdot (710,47 + 0,9 \cdot 6) = 550,67 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2.$$

На основании неравенства (2.71) получаем:

$$N_B^P \leq \frac{1}{k_H} \cdot (N_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi}),$$

$$391,49 < 550,67 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

следовательно, фундамент марки Ф4-АМ удовлетворяет условию расчета по несущей способности.

### 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью работы является проект строительства ВЛ 220 кВ ПС Комсомольская – ПС Ванино. Строительство ВЛ 220 кВ «Комсомольская – Ванино» необходима для надежного электроснабжения потребителей Ванинского района Хабаровского края в случае отключения ВЛ 220 кВ идущей параллельно проектируемой ВЛ.

Реализация данного проекта позволяет повысить надежность действующей первой цепи воздушной линии электропередач 220 кВ «Комсомольская– Ванино».

Задачами раздела являются:

- 1) организация и планирование проектных работ;
- 2) расчет затрат проведения проектных работ;
- 3) технико-экономическое обоснование проекта.

#### 3.1. Перечень работ и оценка времени их выполнения

В таблице 4.1. приведен перечень работ и продолжительность времени их выполнения.

В таблице использованы следующие сокращения:

Ин-11 – инженер 11 разряда;

НР-15 – научный руководитель ТПУ 15 разряда (доцент).

Таблица 4.1 – Перечень работ и продолжительность времени их выполнения

Стадии, этапы	Исполнители	$T_p$ раб. дн
1	2	3
Выдача и получения задания	НР-15, Ин-11	1
Поиск и подготовка необходимого оборудования, программного обеспечения, материалов	Ин-11	2

					<i>ФЮРА.13.03.02.007 ПЗ</i>			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Кулыгин В.А.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руков.		Носов Г.В.					77	116
						<i>ТПУ ИнЭО Гр. 3-5АЗГ1</i>		
						77		

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3
Сбор информации об объекте исследования, необходимой литературы, справочных данных	Ин-11	4
Предварительные расчеты	Ин-11	3
Механический расчет ВЛ	Ин-11	10
Выбор силового оборудования	Ин-11	8
Технико-экономическое обоснование проекта	Ин-11	6
Корректировка расчетов	НР-15, Ин-11	2
Составление пояснительной записки	Ин-11	3
Сдача проекта	НР-15, Ин-11	1
Итого	НР-15	4
	ИН-11	42

### 3.2. Смета затрат на проект

При планировании сметы научно-технического исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

В процессе формирования бюджета используются следующие затраты по статьям [14]:

- материальные затраты;
- заработная плата исполнителей;
- страховые взносы во внебюджетные фонды 30%;
- прочие расходы;
- амортизация;
- накладные расходы.

Таким образом смета затрат на проект рассчитывается по выражению (4.1):

$$K_{сз} = K_{мат} + K_{ам} + K_{зп} + K_{со} + K_{пр} + K_{накл}, \quad (4.1)$$

где  $K_{мат}$  – материальные затраты, тыс.руб., принимаем в размере 1 тыс.руб. на канцелярские товары;

$K_{ам}$  – амортизация компьютерной техники, тыс.руб;

$K_{зп}$  – затраты на заработную плату, тыс.руб;

$K_{со}$  – затраты на социальные нужды, тыс.руб;

$K_{\text{пр}}$  – прочие затраты, тыс.руб;

$K_{\text{накл}}$  – накладные расходы, тыс.руб.

Выполним расчет каждой статьи сметы затрат.

### 3.2.1. Затраты на амортизацию компьютерной техники

Затраты, связанные с приобретением оборудования, необходимого для проведения работ приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютерная система	1	75	77
2	Программное обеспечение	1	370	370
Итого:				477

Для оборудования, используемого при выполнении конкретного исследования и имеющегося в данной научно-технической организации необходимо рассчитать амортизационные отчисления.

Затраты на амортизацию техники рассчитывается по формуле [15] (4.2):

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.к.т.}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{к.т.}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (4.2)$$

где  $T_{\text{исп.к.т.}}$  – время использования компьютерной техники, дн.;

$T_{\text{кал}}$  – календарное время, дн., принимаем равным 365 дням;

$C_{\text{к.т.}}$  – цена компьютерной техники, тыс.руб.;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы компьютерной техники, лет.

Результаты расчета амортизационных отчислений приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Затраты на амортизацию оборудования

№	Наименование оборудования	$T_{\text{исп.к.т.}}$ , дн.	$C_{\text{к.т.}}$ , руб.	$T_{\text{сл}}$ , лет	$K_{\text{ам}}$ , руб.
1	Компьютерная система	42	75000	3	2876,7
2	Программное обеспечение	42	370000	3	14191,8
Итого:					17068,5

Вывод: согласно таблице 4.3, амортизационные отчисления находящегося в эксплуатации оборудования составляет 17068,5 руб.

### 3.2.2. Заработная плата исполнителей

Расходы на оплату труда определяются по формуле [16] (4.3):

$$K_{\text{зп}} = \text{Зп}_{\text{инж}} + \text{Зп}_{\text{нр}}, \quad (4.3)$$

где  $\text{Зп}_{\text{инж}}$  – заработная плата инженера, тыс.руб.;

$\text{Зп}_{\text{нр}}$  – заработная плата научного руководителя, тыс. руб.

Установим для каждого исполнителя оклад в размере средней заработной плате по промышленности, тогда заработная плата за полностью отработанный месяц будет составлять сумму оклада и районного коэффициента. Исходя из того, что в месяце 21 рабочий день, заработная плата за один проработанный день определяется согласно формуле (4.4):

$$\text{Зп}_{\text{дн}} = \text{Зп}_{\text{мес}} / 21, \quad (4.4)$$

где  $\text{Зп}_{\text{дн}}$  – заработная плата за один отработанный день, тыс.руб.;

$\text{Зп}_{\text{мес}}$  – месячная заработная плата, тыс.руб, определяется по выражению (4.5):

$$\text{Зп}_{\text{мес}} = \text{Зп}_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (4.5)$$

где  $\text{Зп}_0$  – месячный оклад, тыс.руб;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий отпуск, принимаем равным 10%;

$K_2$  – районный коэффициент, принимаем равным 30%.

Заработная плата с учетом количества отработанных дней, вычисляется по формуле (4.6):



$$K_{зп} = З_{п_{дн}} \cdot T_p, \quad (4.6)$$

где  $T_p$  – фактическое число дней работы в проекте, дн.

Расчет заработной платы для каждого исполнителя приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Заработная плата исполнителей

Исполнитель	Кол-во раб. дн.	Оклад; руб.	$З_{п_{мес}}$ , руб.	$З_{п_{дн}}$ , руб.	$K_{зп}$ , руб
НР-15	4	26300	37609	1791	7164
Ин-11	42	17000	24310	1158	48636
Итого					55800

### 3.2.3. Страховые взносы во внебюджетные фонды 30%

Отчисления во внебюджетные страховые фонды ( $K_{со}$ ) составляет 30 % от расходов на оплату труда и равны:

$$K_{со} = 0,3 \cdot K_{зп} = 0,3 \cdot 55,88 = 16,76 \text{ тыс.руб.}$$

Вывод: на основании полученных результатов, заработная плата исполнителей за все время проведения исследования составит 55,88 тыс.руб. Отчисления во внебюджетные и страховые фонды составит 16,76 тыс.руб.

### 3.2.4. Прочие затраты

Прочие затраты принимаются в размере 10% от суммы ( $K_{мат} + K_{ам} + K_{зп} + K_{со}$ ) и составляют:

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (1 + 170,67 + 55,88 + 16,76) = 24,43 \text{ тыс.руб.}$$

Вывод: на основании полученных результатов, прочие затраты составляют 24,43 тыс.руб.

### 3.2.5. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Принимаются в размере 200% Их величина составляет:

$$K_{\text{накл}} = 2 \cdot 55,88 = 111,76 \text{ тыс.руб.}$$

Вывод: на основании полученных результатов, накладные расходы равны 111,76 тыс.руб.

### 3.2.6. Формирование сметы затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта ВЛ, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [14].

Смета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчет стоимости затрат научно – технического исследования

Статьи расходов	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат, %
1.Материальные затраты	1,00	0,26
2.Амортизационные отчисления	170,67	44,85
3.Заработная плата	55,88	14,69
4.Страховые взносы во внебюджетные фонды 30%	16,76	4,40
5. Прочие затраты	24,43	6,42
6.Накладные расходы	111,76	29,37
Смета затрат	380,50	100,00

Вывод: на основании таблицы 4.5 следует, что бюджет затрат на проведение научно-исследовательских работ составляет 380,5 тыс.руб.

### 3.3. Расчет капиталовложений на реализацию проекта

Перечень оборудования для строительства линии 220 кВ, их количество и стоимость за штуку приведена в таблице 4.6 [17-24].

Таблица 4.6 – Оборудование для строительства ВЛ – 220 кВ

Оборудование	Количество, шт. (м)	Цена за шт (м), тыс.руб.	Производитель, поставщик	Стоимость, млн. руб.
Анкерные опоры У220-1	72	1032,54	АО «ДМЗК» МЕТАКО	74,302
Промежуточные опоры П220-3	136	346,60	АО «ДМЗК» МЕТАКО	47,137
Провод АС 330/39	170000	0,642	Энергокомплект	109,140
Изолятор стеклянный ПС – 70Е	3264	0,424	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	1,383
Изолятор стеклянный ПС – 160 Д	1584	1,350	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	2,138
Зажим поддерживающий глухой ПГН-3-5	432	1,600	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	0,691
Зажим поддерживающий глухой НБ-3-6Б	308	1,282	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	0,394
Серьга специальная СР-7-16	432	0,141	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	0,060
Серьга сцепная СР-12-16	308	0,154	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	0,044
Ушко однолапчатое У1-7-16	432	0,275	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	0,108
Ушко однолапчатое У1-12-16	308	0,451	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	138,9
Узел крепления КПП-16-3	432	0,294	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	0,127
Узел крепления КПП-12-1	308	0,976	Южноуральский арматурно-изоляционный завод	0,300
Грозотрос МЗ-11-В-ОЖ-Н-Р	170000	0,094	ВЭЛСнаб	15,980

Продолжение таблицы 4.6

Оборудование	Количество, шт. (м)	Цена за шт (м), тыс.руб.	Производитель, поставщик	Стоимость, млн. руб.
Фундамент Ф2-2	544	26,4	ЖБИ-5	14,361
Фундамент Ф4-АМ	288	51,8	ЖБИ-5	14,918
			Итого	281,229

В таблице 4.7 приведена смета затрат на оборудование и строительно-монтажные работы, которые составляют 20% от стоимости оборудования.

Таблица 4.7 – Смета затрат на оборудование и строительно-монтажные работы

Наименование строительства	Стоимость оборудования, млн. руб	Строительно-монтажные работы, млн. руб	Итого, млн. руб.
Одноцепная ВЛ-220кВ	281,229	56,245	337,475

Таким образом, капитальные затраты составляют:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{обор.}} + K_{\text{ст.м}} + K_{\text{сз}} = 281229,3 + 56245,86 + 193,41 = 337668,6 \text{ тыс.руб.}$$

### 3.4. Экономическая эффективность проекта

Годовые эксплуатационные издержки определяются по формуле (4.7):

$$I_3 = I_{\text{ам}} + I_{\text{об}} + I_{\text{пот}}, \quad (4.7)$$

где  $I_3$  – годовые эксплуатационные издержки, тыс.руб.;

$I_{\text{ам}}$  – ежегодные амортизационные отчисления, тыс. руб.;

$I_{\text{об}}$  – издержки на текущую эксплуатацию, ремонт сетей и электрооборудования, тыс. руб.;

$I_{\text{пот}}$  – издержки от стоимости потерь электроэнергии в сетях и оборудовании, тыс. руб.

Ежегодные амортизационные отчисления определяются по формуле (4.8):

$$I_{\text{ам}} = P_a \cdot K_{\text{пр}}, \quad (4.8)$$

где  $P_a$  – норма ежегодных амортизационных отчислений, %,

$K_{\text{пр}}$  – капитальные затраты, тыс.руб.

Значение  $P_a$  зависит от срока полезного использования оборудования.

Срок полезного использования ВЛ-220 кВ составляет 15 лет, тогда норма ежегодных амортизационных вычислений:

$$P_a = \frac{1}{15} \cdot 100\% = 6,7\%.$$

Ежегодные амортизационные отчисления:

$$I_{\text{ам}} = 0,067 \cdot 337668,6 = 22623,79 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые расходы на обслуживание и текущий ремонт электрооборудования включают зарплату ремонтного и обслуживающего персонала и затраты на материалы необходимые для ремонта и обслуживания электрооборудования.

Издержки на текущую эксплуатацию, ремонт сетей и электрооборудования определяется по выражению (4.9):

$$I_{\text{об}} = P_3 \cdot K_{\text{пр}}, \quad (4.9)$$

где  $P_3$  – норма отчислений на текущий ремонт и обслуживание, %.

Норма отчислений на текущий ремонт и обслуживание составляет 4%, тогда издержки на текущую эксплуатацию, ремонт сетей и электрооборудование равны:

$$I_{\text{об}} = 0,04 \cdot 337668,6 = 13506,74 \text{ тыс.руб.}$$

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 потерь электроэнергии определяется по формуле (4.10):

$$I_{\text{пот}} = \Delta P \cdot \tau, \quad (4.10)$$

где  $\Delta P$  – потери активной мощности, кВт;  
 $\tau$  – удельная стоимость потерь электроэнергии, руб./кВтч, составляет 0,88, руб./кВтч.

Планируемое наибольшее потребление электроэнергии за год рассчитывается по выражению (4.11):

$$\mathcal{E}_{\text{max}} = P_{\text{max}} \cdot T_{\text{г}}, \quad (4.11)$$

где  $P_{\text{max}}$  – наибольшая активная мощность, потребляемая нагрузкой, МВт;  
 $T_{\text{г}}$  – количество часов в году, ч, составляет 8760 ч.

Планируемое наибольшее потребление электроэнергии за год:

$$\mathcal{E}_{\text{max}} = 151000 \cdot 8760 = 1322760000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Согласно стандарта ПАО "ФСК ЕЭС" потери в электрических сетях по Хабаровскому краю составляют 9,37% от потребленной электроэнергии:

$$\Delta P = 1322760000 \cdot 0,0937 = 123942612 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость потерь электроэнергии по формуле (4.10):

$$I_{\text{пот}} = 123942612 \cdot 0,88 = 109069498,56 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые эксплуатационные издержки по выражению (4.7) составляют:

$$I_{\text{э}} = 22623,79 + 13506,74 + 109069498,56 = 109105629,09 \text{ тыс.руб.}$$

Срок окупаемости проекта рассчитывается по следующей формуле (4.12):

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{обор.}} + K_{\text{ст.м}} + K_{\text{проект}}}{P - I_{\text{э}}}, \quad (4.12)$$

где  $P$  – прибыль, тыс.руб.

Прибыль проекта определяются по выражению (4.13):

$$P = \mathcal{E}_{\text{max}} \cdot \tau - I_{\text{э}}, \quad (4.13)$$

где  $\tau$  – стоимость 1кВтч электроэнергии, руб./кВтч, составляет 4,27 руб. /кВтч.

Прибыль проекта составляет:

$$П = 1322760000 \cdot 4,27 - 109105629,09 = 5539079570,91 \text{ тыс.руб.}$$

Срок окупаемости проекта равен:

$$T_{\text{ок}} = \frac{281229,3 + 56245,86 + 193,41}{5539079571 - 109105629,09} = 6,2 \text{ лет.}$$