

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



Институт Электронного обучения  
Специальность Электроэнергетические системы и сети  
Кафедра Электрических сетей и электротехники

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема работы
<b>Проект развития электрических сетей северной части Томской энергосистемы.</b> УДК 621.311.1.001.6 (571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9201	Сухинин Вктор Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Панкратов А.В.	к.т.н		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коршунова Л.А.	к.т.н		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭСиЭ	Прохоров А.В.	к.т.н		

Томск – 2016 г.

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



Институт Электронного обучения  
Специальность 140205 Электроэнергетические системы и сети  
Кафедра Электрических сетей и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Прохоров А.В.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

В форме:

дипломного проекта

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-9201	Сухинину Виктору Владимировичу

Тема работы:

**Проект развития электрических сетей северной части Томской энергосистемы.**

Утверждена приказом директора (дата, номер)	12.05.2016 г. №3505/с
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(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.).*

**В проекте рассматривается возможность ввода в эксплуатацию ВЛ 110 кВ Вертикос–Мыльджино с учётом схемно–режимных условий.**

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (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).</p>	<p><b>Проектирование: ОРУ – 110 ПС 220 кВ Вертикос; ВЛ 110 кВ Вертикос–Мыльджино. Выбор оборудования подстанции: схема распределительного устройства, высоковольтное оборудование. Составление схемы затрат. Социальная ответственность.</b></p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p><b>Однолинейная схема ПС 220 кВ Вертикос.</b></p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b></p>	<p>Доцент, кандидат технических наук Коршунова Л.А.</p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p>Доцент, кандидат технических наук Амелькович Ю. А.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p> </p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭСиЭ	Панкратов А.В.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-9201	Сухинин Виктор Владимирович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-9201	Сухинину Виктору Владимировичу

<b>Институт</b>	Электронного обучения	<b>Кафедра</b>	Электрических сетей и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Специалитет	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетические системы и сети

**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>Стоимость материалов и оборудования, стоимость электроэнергии, минимальная тарифная ставка оплаты труда.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы амортизации.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка отчислений в социальные фонды.</i>

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

1. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Планирование работ по проектированию и определение трудоемкости</i>
2. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Расчет затрат на проектирование</i>
3. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	<i>Расчёт капиталовложений на оборудование и строительно-монтажные работы.</i>
4. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Расчёт годовых эксплуатационных затрат.</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Расчёт приведённых затрат.</i>

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

1. <i>Этапы и график разработки и внедрения ИР</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 кафедры менеджмента	Коршунова Л.А.	к. т. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-9201	Сухинин Виктор Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-9201	Сухинину Виктору Владимировичу

<b>Институт</b>	Электронного обучения	<b>Кафедра</b>	Электрических сетей и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Специалитет	<b>Направление/специальность</b>	Электроэнергетические системы и сети

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Предметом исследования является проектное помещение. Данная подстанция по степени опасности поражения электрическим током относится к безопасным помещениям. -вредные проявления: повышенная температура воздуха на рабочем месте; сильные электромагнитные поля; влажность, скорость воздушного потока, инфракрасные излучения в помещении.</p>
---	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</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;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</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> </ul>	<p>При воздействии постоянного электромагнитного поля на рабочего, со временем будет наблюдаться нарушение сердечнососудистого ритма и замедление частоты биения сердца, изменения состава крови.</p> <p>Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д. Чаще всего при поражении электрическим током реакцией организма являются: судороги, фибрилляция сердца, прекращение дыхания, паралич и ожоги.</p> <p>Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях – к глухоте. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на работающих: снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций и т.п.</p> <p>При высоких температурах происходит большая нагрузка на сердечно-сосудистую систему. При перегреве увеличивается, а затем уменьшается выделение желудочного сока, поэтому возможны заболевания желудочно-кишечного тракта. Обильное выделение пота снижает кислотный барьер кожи, от чего возникают гнойничковые заболевания. Высокая температура внешней среды усиливает степень отравлений при работе с химическими веществами.</p> <p>Влияние вибрации на организм человека имеет такие негативные последствия, как вибрационная болезнь, которая нарушает нормальную работу сердечно – сосудистой системы, а также нервной системы человека, поражает мышечную ткань и суставы человека, нарушает функции опорно-двигательного аппарата.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Воздействие на <i>атмосферу</i>, при</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 безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>сжигания органического топлива, выражается в большом потреблении кислорода воздуха для горения топлива и в выбросе значительного количества продуктов сгорания.</p> <p>Воздействия на <i>гидросферу</i> приводят к снижениям запасов питьевой воды, изменению фауны и флоры водоемов, нарушению круговорота многих веществ в природе.</p> <p>Воздействия на <i>литосферу</i> приводят к загрязнению грунтовых вод, гибели животных, птиц, насекомых, микроорганизмов, а так же уменьшению плодородных земель.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>Перечень возможных ЧС: Возникновение пожара</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Основное и вспомогательное оборудование должно обеспечивать: удобство его обслуживания, наладки и ремонта, безопасность эксплуатации и ремонта, удобство и легкость управления и т.д.</li> <li>2) Технологическая оснастка должна соответствовать требованиям технологии производства по своему составу и количеству.</li> <li>3) Организационная оснастка призвана обеспечивать эффективное выполнение работником своих обязанностей.</li> <li>4) Средствам освещения необходимо обеспечить достаточный уровень общего освещения.</li> <li>5) Создание оптимального</li> </ol>

	<p>микроклимата в помещениях который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей.</p>
--	---

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-9201	Сухинин Виктор Владимирович		



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



Институт – Электронного обучения  
 Специальность – Электроэнергетические системы и сети  
 Уровень образования – специалист  
 Кафедра электрических сетей и электротехники  
 Период выполнения – весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Дипломный проект
------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
	<i>Введение. Исходные данные для проектирования воздушной линии и ОРУ–110 на подстанции «Вертикос».</i>	
	<i>Расчет электрических параметров. Проектирование воздушной линии. Проектирование ОРУ– 110 на подстанции. Выбор и проверка электрических аппаратов, изоляторов и токоведущих частей подстанции.</i>	
	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	
	<i>Социальная ответственность</i>	
	<i>Заключение. Список использованных источников</i>	
	<i>Выполненный дипломный проект</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭСиЭ	Панкратов А.В.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭСиЭ	Прохоров А.В.	к.т.н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 134\_с., 34 табл., 28 источников, 4 прил.

Ключевые слова: Опора, разъединитель, выключатель, воздушная линия, фундамент.

Объектом исследования является: ПС 220кВ Вертикос, ВЛ 110 кВ Вертикос–Мыльджино\_.

Цель работы – проект развития электрических сетей северной части Томской энергосистемы.

В процессе исследования проводились В процессе работы были рассмотрены вопросы проектирования воздушной линии электропередач 110 кВ Вертикос–Мыльджино и ОРУ–110 кВ на ПС–220 кВ Вертикос, были рассчитаны и введены в допустимую область установившиеся режимы электрической сети после изменения схемы а также выбрано оборудование подстанции: схема распределительного устройства, высоковольтное оборудование, опоры ВЛ, провод.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью программ MS Excel, программного комплекса RastrWin3, оформлена в текстовом редакторе Microsoft Word XP и представлена на диске (в конверте на обороте обложки).

					ФЮРА.140205.012 ПЗ			
	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Сухинин В.В.				<i>Реферат</i>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Панкратов А.В.						10	140
Реценз.						ТПУ ЭНИН гр. 3-9201		
Н. Контр.								
Утверд.	Прохоров А.В.							

## Содержание

Реферат .....	10
Список сокращений.....	14
Введение.....	15
Исходные данные.....	17
1. Расчет зимнего максимума нагрузок .....	21
2. Расчет электрических параметров.....	23
2.1. Выбор сечений проводов.....	23
2.2.Расчёт токов короткого замыкания.....	27
2.3. Выбор и проверка оборудования.....	35
2.3.1 Выбор выключателей и разъединителей.....	35
2.3.2.Выбор измерительных трансформаторов тока.....	37
2.3.3.Выбор измерительных трансформаторов напряжения.....	39
2.3.4.Выбор высокочастотных заградителей.....	41
3. Механический расчёт ВЛ 110 кВ Вертикос – Мыльджино.....	42
3.1 Расчёт механических нагрузок на провода от внешних воздействий .....	45
3.1.1 Постоянная нагрузка.....	45
3.1.2 Нормативная нагрузка.....	45
3.1.3. Расчетная нагрузка.....	48
3.1.4. Результирующая нагрузка.....	49
3.2. Определение физико–механических характеристик провода ВЛ.50	
3.3 . Определение критических длин пролётов и выбор определяющих климатических условий для расчёта сталеалюминевых проводов на прочность.....	51
3.4 Расчёт критической температуры.....	58
3.5 Расчёт габаритного пролёта.....	58

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>Содержание</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.	Сухинин В.В.						11	140
Руковод.	Панкратов А.В.							
Реценз.								
Н. Контр.								
Утверд.	Прохоров А.В.					<b>ТПУ ЭНИН гр. 3-9201</b>		

3.6	Выбор изоляторов для промежуточных опор.....	60
3.7	Построение расстановочного шаблона.....	63
3.8	Расчёт грозозащитного троса.....	67
3.8.1	Нагрузки действующие на трос .....	69
3.9	Расчёт нагрузок действующих на промежуточную опору.....	75
3.10	Расчёт грибовидного фундамента–подножника для промежуточной опоры .....	77
3.10.1	Расчет на сжатие фундамента.....	79
3.10.2	Расчёт на вырывание.....	80
3.10.3	Расчёт по устойчивости.....	80
3.11	Выбор анкерной опоры.....	81
3.11.1	Постоянные нагрузки.....	82
3.11.2	Кратковременные нагрузки.....	82
3.11.3	Расчёт грибовидного фундамента–подножника для анкерной опоры .....	84
3.11.4	Расчёт на сжатие .....	86
3.11.5	Расчёт на вырывание.....	87
3.11.6	Расчёт по устойчивости .....	87
3.12	Расчёт нагрузок, действующих на переходную опору .....	88
3.12.1	Расчёты грибовидного фундамента–подножника для переходной опоры .....	91
3.12.2	Расчёт на сжатие .....	94
3.12.3	Расчёт на вырывание .....	94
3.12.4	Расчёт по устойчивости .....	94
3.13	Расчёт монтажной таблицы и построение монтажных графиков .....	95
4.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	97
4.1	Планирование работ по проектированию .....	97
4.2	Расчёт затрат на проектирование.....	98

4.3 Расчёт приведённых затрат по вариантам с одинаковой надёжностью .....	102
4.4 Расчёт производственных капиталовложений .....	106
4.5 Расчёт эксплуатационных затрат .....	107
5. Социальная ответственность.....	110
5.1 Производственная безопасность.....	111
5.2 Экологическая безопасность .....	122
5.3 Безопасность в ЧС.....	129
5.4 Правовые информационные вопросы обеспечения безопасности .	111
6. Заключение.....	133
Приложение 1.....	134
Приложение 2.....	135
Приложение 3.....	136
Приложение 4.....	137
Список использованных источников.....	138

## Список сокращений

ПС- подстанция

ВЛ-воздушная линия

ОРУ- открытое распределительное устройство

ЗРУ - закрытое распределительное устройство

КРУ - комплектное распределительное устройство

ПУЭ - правила устройства электроустановок

КЗ - короткое замыкание

РЗА - релейная защита и автоматика

ЭДС - электродвижущая сила

АСУ-Автоматизированная система управления

СНиП- строительные нормы и правила

ПТЭ-правила технической эксплуатации

ТБ-техника безопасности

ФЗ-федеральный закон

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Сухинин В.В.</i>			<b>Список сокращений</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Панкратов А.В.</i>					14	140
<i>Реценз.</i>						<b>ТПУ ЭНИН гр. 3-9201</b>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Прохоров А.В.</i>						

## ВВЕДЕНИЕ

Основным источником электроснабжения промышленных предприятий являются районные электроэнергетические системы.

Основные показатели энергосистемы обусловлены местными условиями: наличием источника питания, характеристиками потребителей и т.д.

В процессе проектирования осуществляется взаимный обмен информацией и принятие решений по развитию электрических сетей различных назначений и напряжений.

Исходя из состава и объема задач, решаемых на отдельных этапах проектирования электрических сетей, работы могут иметь следующее содержание:

- анализ существующей сети энергосистемы, рассмотрение ее загрузки.
- определение электрических нагрузок потребителей и составление балансов активной мощности по отдельным подстанциям, обоснование сооружения новых ПС и ВЛ.
- выбор расчетных режимов работы электростанции и определение загрузки проектируемой электрической сети.
- электрические расчеты различных режимов работы сети и обоснование схемы построения сети, выявление основных требований к системной противоаварийной автоматике.
- составление баланса реактивной мощности, обоснование пунктов размещения компенсирующих устройств, их типа и мощности.
- расчет токов КЗ в проектируемой сети.

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Сухинин В.В.			<b>Введение</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Панкратов А.В.					15	140
<i>Реценз.</i>						<b>ТПУ ЭНИН гр. 3-9201</b>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		Прохоров А.В.						

Основной системообразующей линией Томской энергосистемы является двухцепная ВЛ 220 кВ Томск – Володино – Парабель – Советско-Соснинская длиной более 900 км. Из-за большой протяженности и малой пропускной способности эта линия не может служить в качестве транзитной для параллельной работы объединенной энергосистемы Сибири и объединенной энергосистемы Урала. В настоящее время точкой разделения электрических потоков этих энергосистем является ПС 220 кВ «Парабель», и ПС «Вертикос» тем самым потребители Томской области севернее этой подстанции получают электроэнергию из Тюменской энергосистемы. ПС 110 кВ «Лугинецкая», ПС 110 кВ «Мыльджино», ПС 110 кВ «Игольская», ПС 110 кВ «Крапивинская», ПС 110 «Заподно–Моисеевская», ПС 110 кВ «Двуречная» питаются с ПС 220 кВ «Парабель». ПС 110 кВ «Катыльгинская», ПС 110 кВ «Ломовая» питается с ПС 220 кВ «Чапаевка». Для повышения надёжности питания потребителей 110 кВ питающихся с ПС 220 кВ Парабель, необходимо строительство ВЛ 110 кВ Вкртикос – Мыльджино. Расчеты режимов до и после реконструкции электрических сетей были произведены в специализированном программном комплексе «Rastrwin 3».

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16



### Исходные данные.

По административно-территориальному делению участок строительства подстанции расположен на территории Томской области Каргасокского района.

Протяженность воздушной линии составляет 88 километров.

При проектировании линии электропередач должны учитываться климатические условия. Определение расчетных условий по ветру и гололеду производится в соответствии с существующими картами климатического районирования территории РФ. Районирование по ветру происходит на основе максимальных скоростей ветра с 10-минутным интервалом осреднения скоростей на высоте 10 метров с повторяемостью 1 раз в год. Разделение районов по гололеду происходит исходя из максимальной толщины стенки отложения гололеда цилиндрической формы при плотности 0,9 г/см на проводе диаметром 10 мм. [3, 2.5.38].

Определение температуры воздуха происходит на основании метеорологических данных.

При определении климатических условий необходимо также учесть рельеф местности.

Выполненный с учетом выше перечисленных условий расчеты показали, что участок строительства подстанции относится к III ветровому району, II гололедному району.

Рельеф местности представляет собой равномерный уклон, с понижением с севера на юг.

Низшая температура воздуха составляет  $-55^{\circ}\text{C}$ , высшая температура  $+36^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая температура составляет  $-0,5^{\circ}\text{C}$ .

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>					
<i>Разраб.</i>		Сухинин В.В.				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>		
<i>Руковод.</i>		Панкратов А.В.					17		
<i>Реценз.</i>					<b>Исходные данные</b>				
<i>Н. Контр.</i>								ТПУ ЭНИН гр. 3-9201	
<i>Утверд.</i>		Прохоров А.В.							

Нормативное ветровое давление  $W_0$  принимается в соответствии с картами районирования территории России по ветровому давлению по таблицам приведенным в ПУЭ. При III ветровом районе  $W_0 = 650$  Па.

Толщину стенки гололеда  $b_3$ , также принимают по таблицам, изложенным в ПУЭ и в соответствии с картами районирования территории России по толщине стенки гололеда. При II гололедном районе  $b_3$  принимается равным 15 мм.

Температуру гололеда образования следует принимать равной  $-5^{\circ}\text{C}$ , за исключением районов в которых среднегодовая температура составляет  $-5^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Выбор надежности электроснабжения регламентируется применительно к электроприемникам потребителей. Под потребителем, в нашем случае, понимается предприятие или организация, которая имеет комплекс электроприемников.

В ПУЭ глава 1.2 все электроприемники по обеспечению надежности электроснабжения разделены на 3 категории.

К 1ой категории относятся электроприемники, "перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо выжных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения".

Во вторую категорию включены электроприемники перерыв электроснабжения, которых приводит к массовому недоотпуску продукции, простоя рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности большого числа городских и сельских жителей.

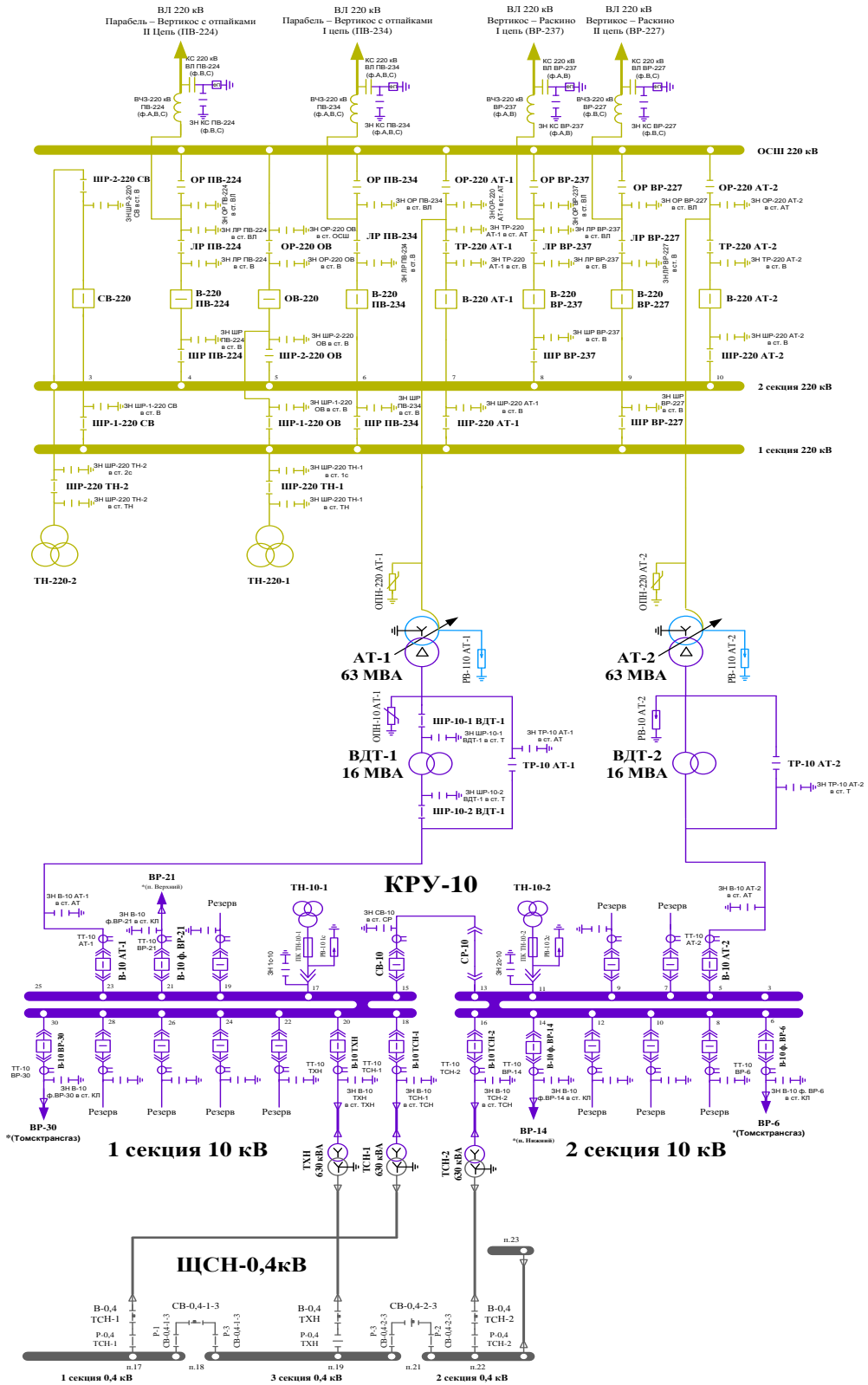
Все остальные электроприемники включены в третью категорию.

В нашем случае электроприемники в отношении обеспечения надежности электроснабжения соответствуют первой категории.

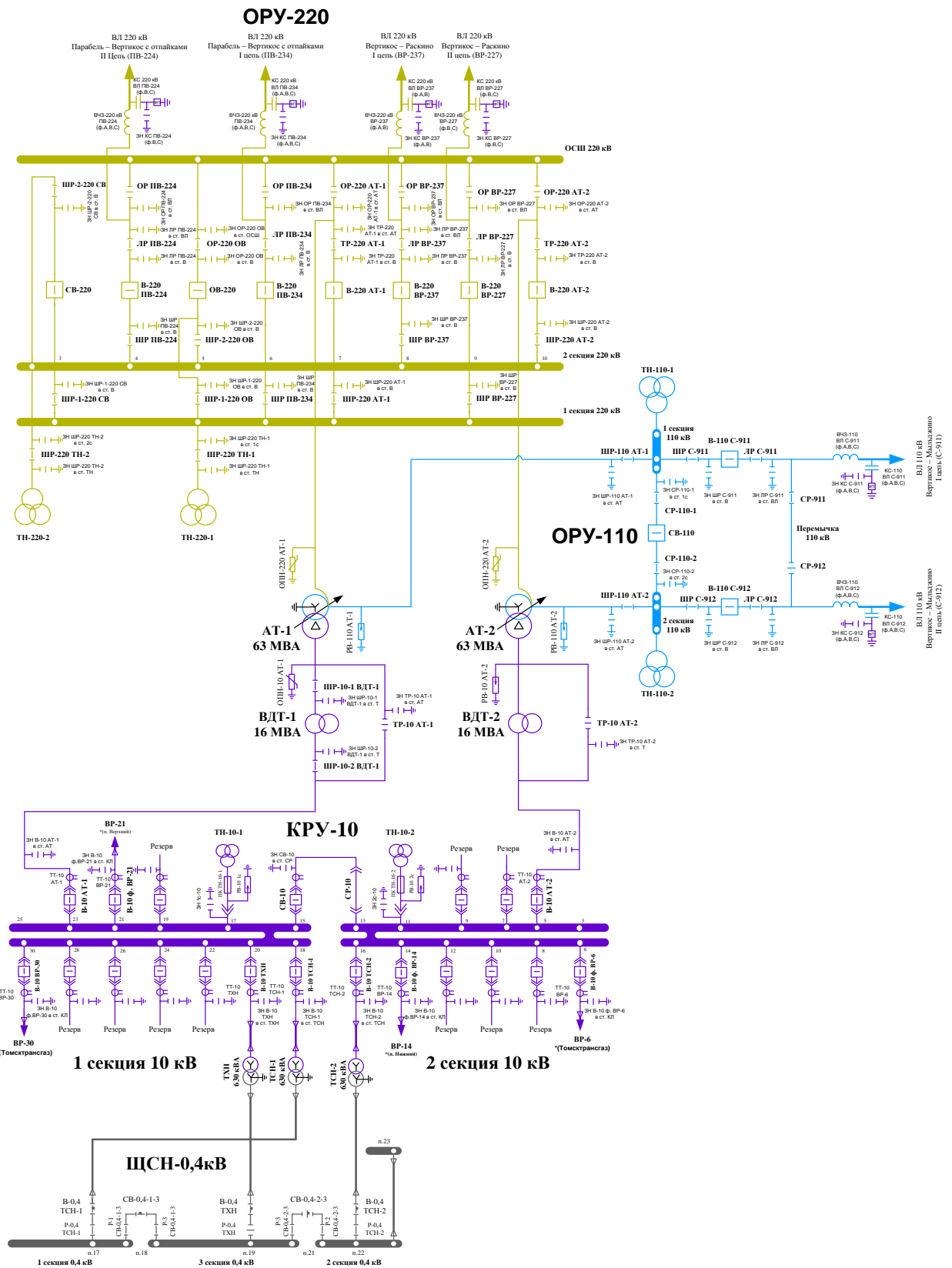
					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

# Существующая схема ПС 220 кВ Вертикас.

## ОРУ-220



Согласно СТО 56947007-29.240.30.010-2008, для ОРУ-110 кВ  
выбираем схему 5Н «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной  
перемычкой со стороны линий».



## 1. Расчет зимнего максимума нагрузок 2015 года.

### Параметры силовых трансформаторов.

Наименование ПС	Тип	Кол-во	$S_{ном}$ , МВА	$\Delta P_k$ , кВт	$\Delta P_x$ , кВт	$I_x$ , %
Вертикос-220	АТДЦТН 63000/220/110	2	63	215	45	0,5
Парабель -220	АТДЦТН 63000/220/110	3	63	215	45	0,5

Используя приведенную в Приложении 1 схему энергосистемы, учитывая, что режим максимальной нагрузке, производим расчет режима в программном комплексе RastrWin3.

Далее, изменяя режим работы ПС 220 кВ Парабель определим параметры сети. Результаты расчета представлены в табл.1

Таблица 1 - Загрузка АТ-1, АТ-2, АТ-3 на ПС 220 кВ Парабель зимнего максимума 2015 года.

Наименование режима	АТ-1		АТ-2		АТ-3	
	Ток I, А	Напряже ние на шинах 110 кВ U, кВ	Ток I, А	Напряж ение на шинах 110 кВ U, кВ	Ток I, А	Напряж ение на шинах 110 кВ U, кВ
Нормальный режим	84	111,9	84	111,9	84	111,9
Отключение 1 с.ш. 110 кВ (АТ- 1, АТ-3)	0	0	264	108,2	0	0

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Сухинин В.В.				<b>Расчёт зимнего максимума нагрузок</b>	Лит.	Лист	Листов
Руковод.	Панкратов А.В.						21	140
Реценз.						<b>ТПУ ЭНИН гр. 3-9201</b>		
Н. Контр.								
Утверд.	Прохоров А.В.							

При отключении АТ–1 и АТ–3 на ПС 220 кВ Парабель, оставшийся в работе АТ–2 находится в перегрузке и попадает под действие защиты АОПО (автоматика отключения при перегрузке оборудования) уставка по стороне 220 кВ 237, А, действующая на отключение В–110 кВ АТ–2. Через 300 сек. произойдёт обесточивание потребителей 110 кВ.

Для увеличения надёжности питания потребителей, требуется реконструкция ПС 220 кВ Вертикос (строительство ОРУ–110 кВ) и строительство ВЛ 110 кВ Вертикос–Мыльджино. Приложение 3.

Так как ПС 220 кВ Вертикос питается с НВГРЭС, то для внедрения данного проекта необходимо перевести питание ПС 220 кВ Вертикос на питание со стороны ПС 500 кВ Томская.

Используя приведенную в Приложении 3 схему энергосистемы, учитывая, что режим максимальной нагрузке, производим расчет режима в программном комплексе RastrWin3.

Далее, изменяя режим работы ПС 220 кВ Парабель Приложение 4 определим параметры сети. Результаты расчета представлены в табл.2

Наименование режима	АТ–1		АТ–2		АТ–3	
	Ток I, А	Напряжение на шинах 110 кВ U, кВ	Ток I, А	Напряжение на шинах 110 кВ U, кВ	Ток I, А	Напряжение на шинах 110 кВ U, кВ
Нормальный режим	42	120,8	42	120,8	42	120,8

Отключение 1 с.ш. 110 кВ (АТ-1, АТ-3)	0	0	107	119,9	0	0
---------------------------------------	---	---	-----	-------	---	---

Как видно из таблицы 2, параметры оставшегося в работе АТ-2 находятся в норме.

Рабочие параметры ПС 220 кВ Вертикос в таблице 3

Табл. 3

Наименование режима	АТ-1		АТ-2	
	Ток I, А	Напряжени е на шинах 110 кВ U, кВ	Ток I, А	Напряжени е на шинах 110 кВ U, кВ
Нормальный режим	53	123,4	53	123,4
Отключение 1 с.ш. 110 кВ (АТ-1, АТ-3) на ПС 220 кВ Парабель.	63	122,8	63	122,8

Как видно из таблицы 3, параметры работы трансформаторов на ПС 220 кВ также находятся в норме. Из этих данных видно целесообразность данного проекта.

## 2. Расчет электрических параметров

Ключевые требования к сети: схема должна обеспечивать нужную надежность, под которой подразумевается способность выполнять заданные функции, не теряя эксплуатационные характеристики в условиях, обозначенных в нормативных документах.

Для потребителей первой и второй категории сооружаются двухцепные линии.

### 2.1 Выбор сечения линии

Выбор сечения провода проводится по экономической плотности тока.

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_p}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{104,7}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 274,7 \text{ А.}$$

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{S_p}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{104,7}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 549,5 \text{ А.}$$

Экономическое сечение

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{эк}}} = \frac{274,7}{1} = 274,7 \text{ мм}^2,$$

где  $j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока с учетом числа часов использования максимальной нагрузки [1, табл. 1.3.36], А/мм<sup>2</sup>.

Из стандартного ряда сечений принимаем сталеалюминевый провод марки АС-240/32 с  $I_{\text{доп}} = 610 \text{ А}$  [2, стр. 82, табл. 3.15.].

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.		Сухинин В.В.			<b>Расчёт электрических параметров.</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Панкратов А.В.					24	140
Реценз.						<b>ТПУ ЭНИН гр. 3-9201</b>		
Н. Контр.								
Утверд.		Прохоров А.В.						



– Проверка по перегрузочной способности (в послеаварийном режиме при отключении одной из питающих линий)

$$I_{\text{расч.п/ав}} < 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 610 = 793,0.$$

Проверка выполняется

– Проверка по условию механической прочности: согласно ПУЭ, воздушные линии напряжением 35 кВ и выше, сооружаемые на двухцепных опорах с применением сталеалюминевых проводов, должны иметь сечение не менее 120 мм<sup>2</sup>. Таким образом, проверка выполняется.

– Проверка по допустимой потере напряжения

$$L_{\text{доп}} < L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{расч}}} = 7,9 \cdot 5 \cdot \frac{610}{274,7} = 87,7 > L_{\text{факт}} = 87,0 \text{ км},$$

где  $\Delta U_{\text{доп}}$  – допустимое значение потери напряжения;

$L_{\text{доп}}$  – допустимая длина питающей линии, км;

$L_{\text{факт}}$  – фактическая длина питающей линии, км;

$L_{\Delta U 1\%}$  – длина линии при полной загрузке, на которой потеря напряжения равна 1%, [3, стр. 89, табл. П.2.7].

– Проверка на корону.

Принимаем к установке двухцепную свободностоящую стальную опору типа ПС110–4в, с подвеской проводов шестиугольником.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

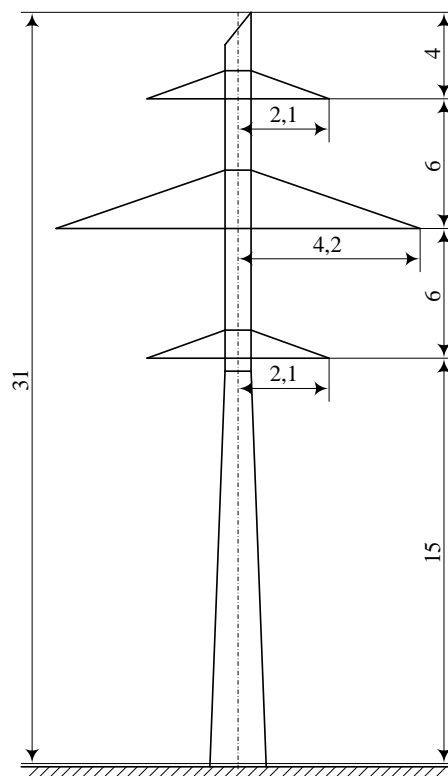


Рисунок 1 – Промежуточная опора

Расстояние между соседними проводами по теореме Пифагора

$$D_{12} = D_{13} = \sqrt{6^2 + 2,1^2} = 6,4 \text{ м.}$$

Тогда среднегеометрическое расстояние между проводами

$$D_{\text{ср}} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}} = \sqrt[3]{6,4 \cdot 6,4 \cdot 12,0} = 7,856 \text{ м.}$$

Начальная критическая напряженность

$$E_0 = 24,5 \cdot m \cdot \delta \cdot \left[ 1 + \frac{0,65}{(\delta \cdot r)^{0,38}} \right] =$$

$$= 24,5 \cdot 0,82 \cdot 1,04 \cdot \left[ 1 + \frac{0,65}{(1,04 \cdot 1,08)^{0,38}} \right] = 33,9 \text{ кВ/см,}$$

где  $r_0$  – радиус провода, см [2, стр. 72, табл. 3.5];

$\delta$  – относительная плотность воздуха [4, стр. 75];

$m$  – коэффициент шероховатости многопроволочных проводов [4, стр. 75].

Напряженность вокруг провода

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$E = \frac{0,354 \cdot U_{\text{ном}}}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_0}} = \frac{0,354 \cdot 110}{1,08 \cdot \lg \frac{785,6}{1,08}} = 12,6 \text{ кВ/см.}$$

По условию:  $1,07 \cdot E \leq 0,9 \cdot E_0$ , имеем

$$1,07 \cdot 12,6 = 13,5 \text{ кВ/см} < 0,9 \cdot 33,9 = 30,5 \text{ кВ/см.}$$

Проверка выполняется.

## 2.2 Расчёт токов короткого замыкания.

Для проверки аппаратов и токоведущих частей по термической и электродинамической стойкости, для проверки выключателей по отключающей способности в заданных присоединениях необходимо определить токи короткого замыкания.

Расчетная схема для расчетов токов КЗ приведена на рисунке 2, электрическая схема замещения – на рисунке 3.

Рисунок 2 – Расчетная схема для расчета тока КЗ

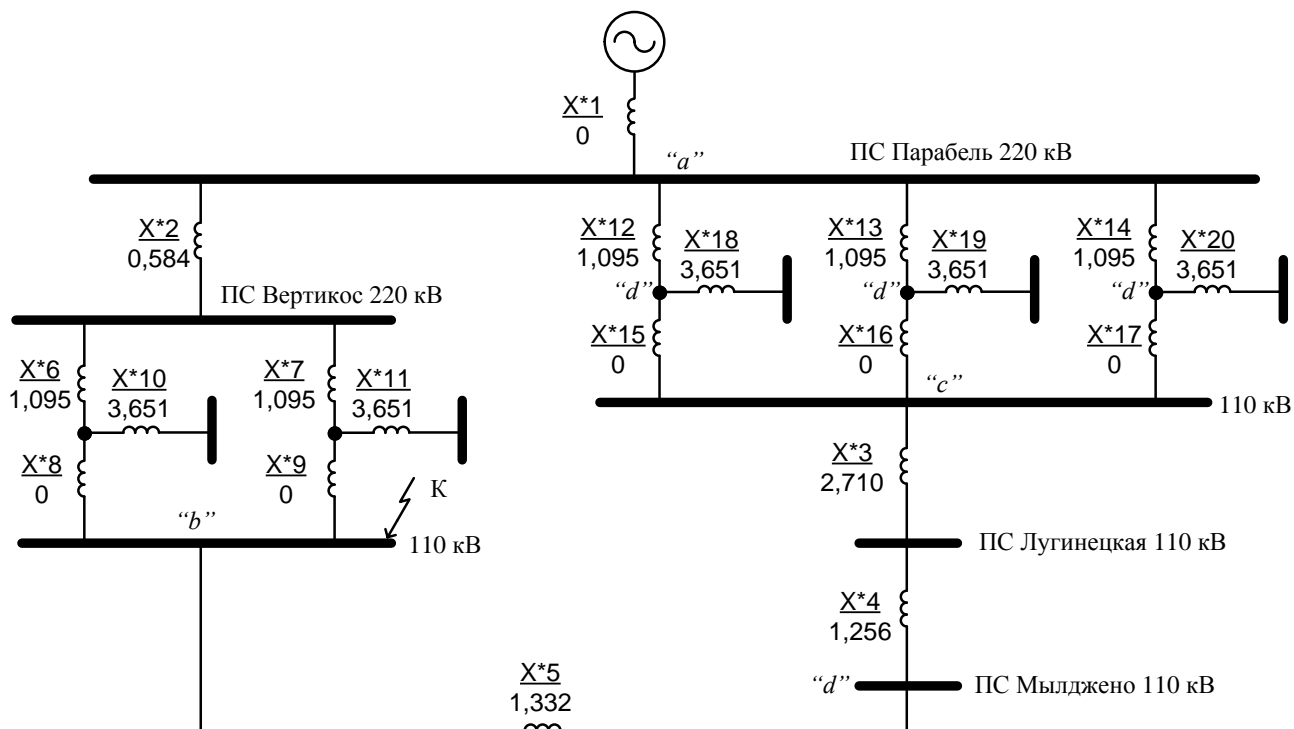


Рисунок 3 – Электрическая схема замещения

Таблица 1 – Параметры автотрансформаторов[2, стр. 13, табл. 5.18],

Тип	S <sub>НОМ</sub> , МВА	U <sub>НОМ</sub> , кВ			U <sub>к</sub> , %			I <sub>хх</sub> , %
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н	
АТДЦН- 63000/220	63	230	121	11	11	35	22	0,45

Таблица 2 – Параметры воздушных линий[2, стр. 74, табл. 3.8], [2, стр. 75, табл. 3.9]

Л1	Л2	Л3	Л4
АС-240	АС-240	АС-120	АС-240
U <sub>НОМ</sub> = 220 кВ	U <sub>НОМ</sub> = 110кВ	U <sub>НОМ</sub> = 110кВ	U <sub>НОМ</sub> = 110кВ
L = 142 км	L = 177км	L = 77,8км	L = 87км
x <sub>0</sub> = 0,435	x <sub>0</sub> = 0,405	x <sub>0</sub> = 0,427	x <sub>0</sub> = 0,405
n <sub>ц</sub> = 2 шт.	n <sub>ц</sub> = 2 шт.	n <sub>ц</sub> = 2 шт.	n <sub>ц</sub> = 2 шт.

Расчет проведем в системе относительных единиц при приближенном учете коэффициентов трансформации. Принимаем за базисные величины

$$S_{\text{б}} = 1000 \text{ МВА},$$

$$U_{\text{б1}} = 115 \text{ кВ}, I_{\text{б1}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б1}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,020 \text{ кА},$$

$$U_{\text{б2}} = 230 \text{ кВ}, I_{\text{б2}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б2}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 5,510 \text{ кА},$$

Расчет параметров схемы замещения

Система С

$$S_{\text{с}} = \infty, X_{\text{с}} = X_1 = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{с}}} = 0$$

Автотрансформаторы (АТ1-АТ5)

$$X_{*10} = X_{*11} = X_{*18} = X_{*19} = X_{*20} = \frac{U_{\text{к.ВН}} + U_{\text{к.СН}} - U_{\text{к.ВС}}}{2 \cdot 100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}} =$$

$$= \frac{35 + 22 - 11}{2 \cdot 100} \cdot \frac{1000}{63} = 3,651,$$

$$X_{*8} = X_{*9} = X_{*15} = X_{*16} = X_{*17} = \frac{U_{\text{к.ВС}} + U_{\text{к.СН}} - U_{\text{к.ВН}}}{2 \cdot 100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}} =$$

$$= \frac{11 + 22 - 35}{2 \cdot 100} \cdot \frac{1000}{63} = 0,$$

$$X_{*6} = X_{*7} = X_{*12} = X_{*13} = X_{*14} = \frac{U_{к.вс} + U_{к.вн} - U_{к.сн}}{2 \cdot 100} \cdot \frac{S_6}{S_{ном}} =$$

$$= \frac{11 + 35 - 22}{2 \cdot 100} \cdot \frac{1000}{63} = 1,095.$$

Воздушные линии электропередачи (Л1- Л4)

$$X_{*2} = x_0 \cdot \frac{L_1}{n_{ц}} \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2} = 0,435 \cdot \frac{142}{2} \cdot \frac{1000}{230^2} = 0,584,$$

$$X_{*3} = x_0 \cdot \frac{L_2}{n_{ц}} \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 0,405 \cdot \frac{177}{2} \cdot \frac{1000}{115^2} = 2,710,$$

$$X_{*4} = x_0 \cdot \frac{L_3}{n_{ц}} \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 0,427 \cdot \frac{77,8}{2} \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,256,$$

$$X_{*5} = x_0 \cdot \frac{L_4}{n_{ц}} \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 0,405 \cdot \frac{87}{2} \cdot \frac{1000}{115^2} = 1,332.$$

1. Расчет трехфазного короткого замыкания

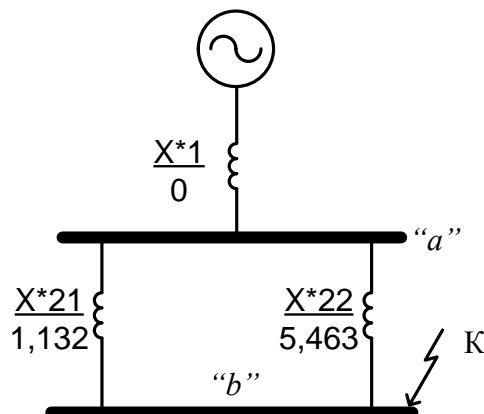
Преобразование схемы замещения и расчет параметров цепи КЗ.

Преобразование элементов Л1 и АТ1 – АТ2 относительно узла «в»

$$X_{*21} = X_{*2} + \frac{X_{*6}}{2} = 0,584 + \frac{1,095}{2} = 1,132.$$

Преобразование элементов АТ3 – АТ5 и Л2 – Л4 относительно узла «в»

$$X_{*22} = \frac{X_{*12}}{3} + X_{*3} + X_{*4} + X_{*5} = \frac{1,095}{3} + 2,710 + 1,256 + 1,132 = 5,463.$$



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Рисунок 4–Промежуточный фрагмент схемы

Результирующее сопротивление относительно точки КЗ К

$$X_{*рез} = X_{*1} + \frac{X_{*21} \cdot X_{*22}}{X_{*21} + X_{*22}} = 0 + \frac{1,132 \cdot 5,463}{1,132 + 5,463} = 0,938.$$

Ток КЗ в точке К определяем по формуле

$$I_{n.0} = \frac{I_{б2}}{X_{*рез}} = \frac{5,510}{0,938} = 5,9 \text{ кА.}$$

Ударный ток

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{n.0} \cdot k_y = \sqrt{2} \cdot 5,9 \cdot 1,608 = 13,4 \text{ кА.}$$

где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент, зависящий от постоянной времени  $T_a$ , определяемый по зависимости  $k_{уд} = f(T_a)$  [5, стр. 150, табл. 3.8].

2. Расчет однофазного короткого замыкания.

Результирующие параметры схемы замещения прямой последовательности равны результирующим параметрам схемы замещения трехфазного КЗ, т.е.

$$X_{*1рез}^{(1)} = 0,938.$$

Схема замещения обратной последовательности по структуре полностью совпадает со схемой замещения прямой последовательности. Отличие состоит в том, что ЭДС всех генерирующих источников питания принимаются равными нулю.

Тогда результирующее сопротивление обратной последовательности

$$X_{*2рез}^{(1)} = X_{*1рез}^{(1)} = 0,938.$$

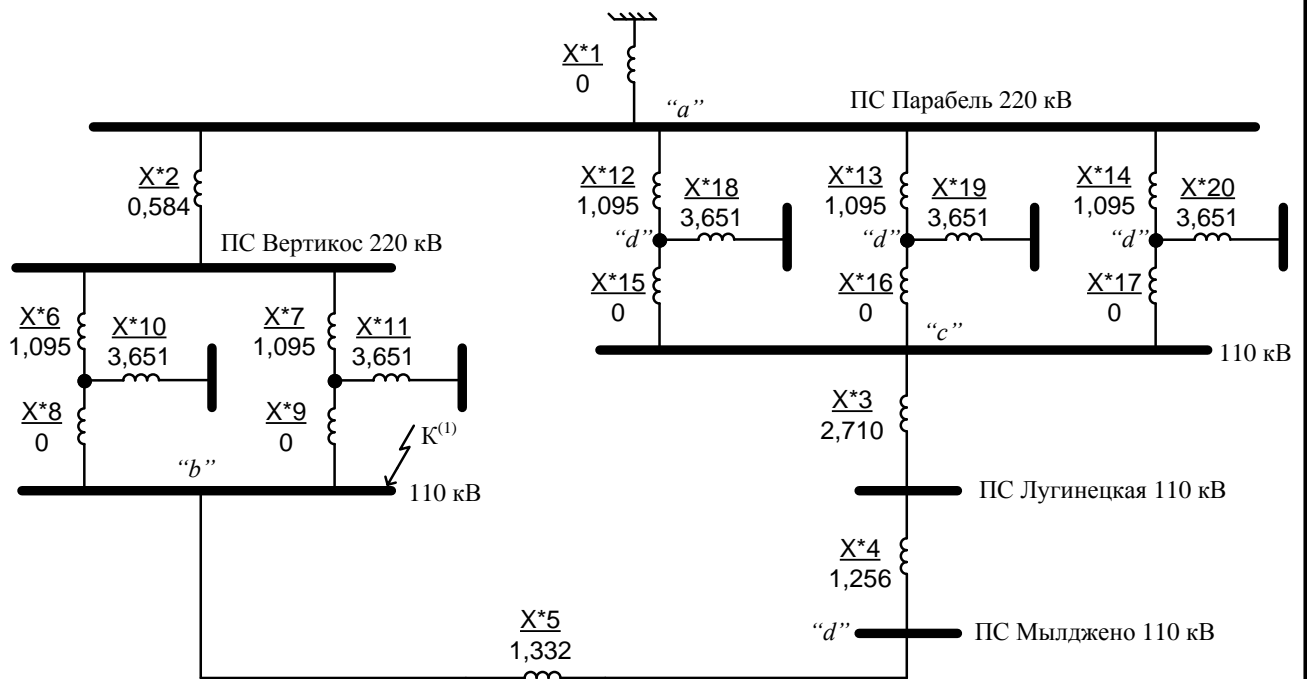


Рисунок 5 – Электрическая схема замещения обратной последовательности

Схема нулевой последовательности существенно отличается от схемы прямой последовательности и в значительной мере определяется соединением обмоток трансформаторов. Сопротивление нулевой последовательности линий существенно больше сопротивления прямой последовательности. Сопротивление нулевой последовательности воздушных линий электропередач определим через коэффициент  $k = x_0/x_1$  [6, стр. 58, табл. П2.1], значение которого зависит от конструктивного исполнения линии.

$$x_{*2} = 4,7 \cdot 0,584 = 2,745,$$

$$x_{*3} = 4,7 \cdot 2,710 = 12,737,$$

$$x_{*4} = 4,7 \cdot 1,256 = 5,903,$$

$$x_{*5} = 4,7 \cdot 1,332 = 6,260.$$

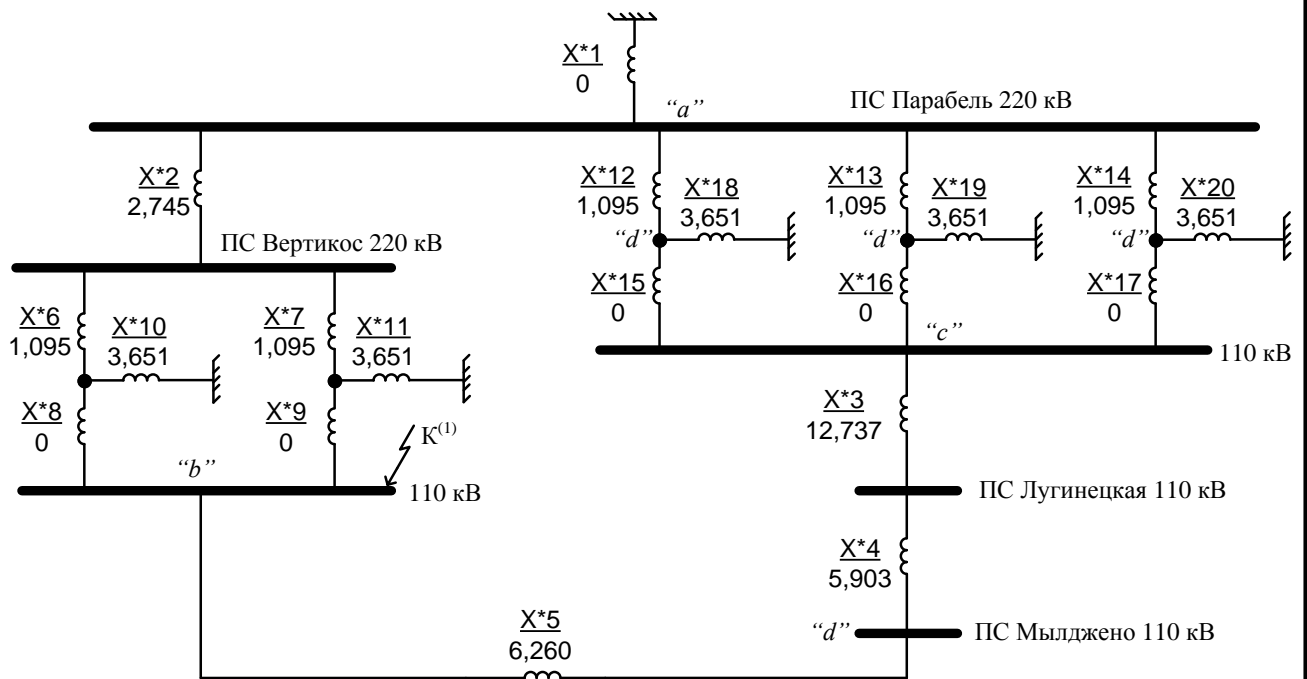


Рисунок 6 – Электрическая схема замещения нулевой последовательности

Преобразование элементов Л1 и АТ1 – АТ2 относительно узла «b»

$$X_{*21} = X_{*2} + \frac{X_{*6}}{2} = 2,745 + \frac{1,095}{2} = 3,293.$$

$$X_{*22} = \frac{X_{*10}}{2} = \frac{3,651}{2} = 1,823.$$

Преобразование элементов АТ3 – АТ5 относительно узла «с»

$$X_{*23} = \frac{X_{*12}}{3} = \frac{1,095}{3} = 0,365.$$

$$X_{*24} = \frac{X_{*18}}{3} = \frac{3,651}{2} = 1,217.$$

Преобразование элементов Л2 – Л4 относительно

$$X_{*25} = X_{*3} + X_{*4} + X_{*5} = 12,737 + 5,903 + 6,260 = 24,9.$$



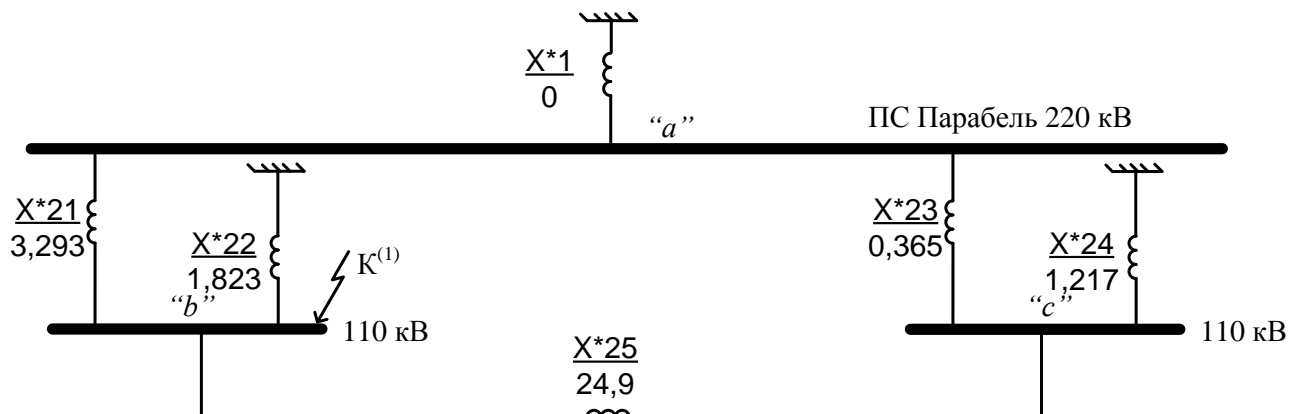


Рисунок 7–Промежуточный фрагмент схемы

Преобразование элементов Л1 и АТ1 – АТ2 относительно узла «b»

$$X_{*26} = \frac{X_{*21} \cdot X_{*22}}{X_{*21} + X_{*22}} = \frac{3,293 \cdot 1,823}{3,293 + 1,823} = 1,173.$$

Преобразование элементов АТ3 – АТ5 и Л2 – Л4 относительно узла «b»

$$X_{*27} = \frac{X_{*23} \cdot X_{*24}}{X_{*23} + X_{*24}} + X_{*25} = \frac{0,365 \cdot 1,217}{0,365 + 1,217} + 24,9 = 25,181.$$

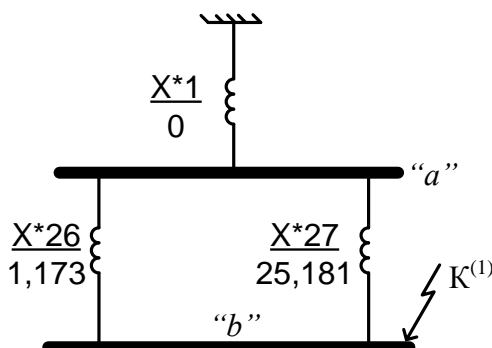


Рисунок 8–Промежуточный фрагмент схемы

Результирующее сопротивление относительно точки КЗ  $K_1$

$$X_{*0рез}^{(1)} = X_{*1} + \frac{X_{*26} \cdot X_{*27}}{X_{*26} + X_{*27}} = 0 + \frac{1,173 \cdot 25,181}{1,173 + 25,181} = 1,121.$$

Ток КЗ в точке К определяем по формуле

$$I_{к1} = \frac{I_{б2}}{X_{*1рез}^{(1)} + X_{*2рез}^{(1)} + X_{*0рез}^{(1)}} = \frac{5,510}{0,938 + 0,938 + 1,121} = 1,8 \text{ кА.}$$

Из расчета видно, что ток трехфазного КЗ больше тока однофазного КЗ, следовательно при выборе высоковольтной аппаратуре необходимо ориентироваться только на ток трехфазного КЗ.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

## 2.3 Выбор и проверка оборудования.

### 2.3.1 Выбор выключателей и разъединителей

Намечаем к установке выключатель типа ВЭК-110-40/2000У1

Параметры выключателя [8, стр. 239, табл. 5.2]

- номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 110$  кВ;
- номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 2000$  А;
- номинальный ток отключения  $I_{\text{отк.ном}} = 40$  кА;
- ток электродинамической стойкости  $I_{\text{дин}} = 40$  кА;
- пик тока электродинамической стойкости  $i_{\text{дин}} = 102$  кА;
- ток термической стойкости  $I_{\text{тер}} = 50$  кА;
- длительность протекания тока термической стойкости  $t_{\text{тер}} = 3$  с;
- полное время отключения выключателя  $t_{\text{отк.в}} = 0,1$  с.

Проверка выключателя

- по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$

$$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ};$$

- по току  $I_{\text{мах}} \leq I_{\text{ном}}$

$$I_{\text{мах}} = 549,5 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А};$$

- по отключающей способности  $I_{\text{н,т}} \leq I_{\text{отк.ном}}$

$$I_{\text{н,т}} = 5,9 \text{ кА} < I_{\text{отк.ном}} = 40 \text{ кА};$$

- по электродинамической стойкости  $I_{\text{п,0}} \leq I_{\text{дин}}, i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$

$$I_{\text{п,0}} = 5,9 \text{ кА} < I_{\text{дин}} = 40 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = 13,4 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА};$$

- по термической стойкости  $B_{\text{к}} \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п,0}}^2 \cdot (t_{\text{р.з.}} + t_{\text{отк.в}} + T_{\text{а}}) = 5,9^2 \cdot (1,2 + 0,1 + 0,02) = 45,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 50^2 \cdot 3 = 7500,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{\text{к}} < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}.$$

Выключатель проходит по результатам проверок.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Намечаем к установке разъединитель типа РДЗ-2-110/1000У1

Параметры разъединителя [5, стр. 627, табл. П4.1]

- номинальное напряжение  $U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ}$ ;
- номинальный ток  $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$ ;
- амплитуда предельного сквозного тока  $i_{\text{пр.с}} = 80 \text{ кА}$ ;
- ток термической стойкости  $I_{\text{тер}} = 31,5 \text{ кА}$ ;
- длительность протекания тока термической стойкости  $t_{\text{тер}} = 3 \text{ с}$ .

Проверка разъединителя

- по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{НОМ}}$

$$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ} = U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ};$$

- по току  $I_{\text{max}} \leq I_{\text{НОМ}}$

$$I_{\text{max}} = 549,5 \text{ А} < I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А};$$

- по электродинамической стойкости  $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$

$$i_{\text{уд}} = 13,4 \text{ кА} < i_{\text{пр.с}} = 80 \text{ кА};$$

- по термической стойкости  $B_{\text{к}} \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$

$$B_{\text{к}} = 45,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{\text{к}} < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}.$$

Разъединитель проходит по результатам проверок. Расчеты по выбору выключателей и разъединителей сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Выбор выключателей и разъединителей

Расчетные данные	Выключатель ВЭК-110-40/2000У1	Разъединитель РДЗ-2-110/1000У1
$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 549,5 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 2000 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$

$I_{n,t} = 5,9 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА}$	–
$I_{п,0} = 5,9 \text{ кА}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	–
$i_y = 13,4 \text{ кА}$	$i_{дин} = 102 \text{ кА}$	$I_{пр.с} = 80 \text{ кА}$
$B_k = 45,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 2976,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

### 2.3.2 Выбор измерительных трансформаторов тока

Трансформаторы тока предназначены для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для измерительных приборов и реле, а так же для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Нагрузка трансформаторов тока представлена в таблице 4 [5, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 4 – Нагрузка трансформаторов тока

Место установки	Прибор	Тип	Нагрузка, В·А		
			А	В	С
Сторона СН автотрансформатора	Амперметр	Э — 350	–	0,5	–
	Ваттметр	Д — 335	0,5	–	0,5
	Варметр	Д — 335	0,5	–	0,5
	Счетчик W	СЭТ-4ТМ	2,5	–	2,5
	Счетчик V	СЭТ-4ТМ	2,5	–	2,5
Итого			6,0	0,5	6,0

Из таблицы 4 видно, что наиболее загружены фазы А и С. Для них ведем расчет.

Намечаем к установке трансформатор тока типа ТФЗМ110 с параметрами [5, стр. 632, табл. П.4.5]

- номинальное напряжение  $U_{ном} = 110 \text{ кВ}$ ;
- номинальный ток  $I_{ном} = 600 \text{ А}$ ;
- вторичный номинальный ток трансформатора тока  $I_2 = 5 \text{ А}$ ;

- ток электродинамической стойкости  $i_{\text{дин}} = 126 \text{ кА}$ ;
- ток термической стойкости  $I_{\text{тер}} = 26,0 \text{ кА}$ ;
- длительность протекания тока термической стойкости  $t_{\text{тер}} = 3 \text{ с}$ ;
- вторичная номинальная нагрузка трансформатора тока  $Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}$ ;
- класс точности 0,5.

Проверка трансформатора тока

– по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$

$$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ};$$

– по току  $I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$

$$I_{\text{max}} = 549,5 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 600 \text{ А};$$

– по вторичной нагрузке  $Z_2 \leq Z_{2\text{ном}}$

Общее сопротивление приборов, подключенных к трансформатору тока, определяем по формуле

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6,0}{5^2} = 0,24 \text{ Ом},$$

где  $S_{\text{приб}}$  – мощность, потребляемая приборами из таблицы 3.

Допустимое сопротивление проводников определяем по формуле

$$r_{\text{пр, доп}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}} = 1,2 - 0,24 - 0,1 = 0,86 \text{ Ом},$$

где  $r_{\text{к}}$  – сопротивления контактов (0,05 Ом при двух-трех приборах; 0,1 Ом при большем количестве приборов) [5, стр. 374].

Для присоединения приборов к трансформаторам тока используем кабель с алюминиевыми жилами. Расчетное сечение кабеля определяем по формуле

$$Q_{\text{расч}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{r_{\text{пр, доп}}} = \frac{0,0283 \cdot 10}{0,86} = 0,33 \text{ мм}^2,$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление алюминиевого провода [5, стр. 374], Ом/мм<sup>2</sup>;

$l_{\text{пр}}$  – длина провода [9, стр. 375].

Принимаем кабель марки АКРВГ сечением равным 4 мм<sup>2</sup> [5, стр. 375].

Сопротивление кабеля определяем по формуле

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$r_{пр} = \frac{\rho \cdot l_{расч}}{q} = \frac{0,0283 \cdot 10}{4} = 0,071 \text{ Ом.}$$

Вторичную нагрузку ТТ определяем по формуле

$$Z_2 \approx r_2 = r_{приб} + r_{пр} + r_k = 0,24 + 0,071 + 0,1 = 0,411 \text{ Ом} < Z_{2ном};$$

– по электродинамической стойкости  $i_{уд} \leq i_{дин}$

$$i_y = 13,4 \text{ кА} < i_{дин} = 126 \text{ кА};$$

– по термической стойкости  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$

$$B_k = 45,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 26,0^2 \cdot 3 = 2028,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_k < I_{тер}^2 \cdot t_{тер}.$$

Трансформатор тока проходит по результатам проверок.

Расчеты сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Выбор трансформаторов тока

Тип ТТ	Расчетные данные	Каталожные данные
ТФЗМ110	$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 549,5 \text{ А}$	$I_{ном} = 600 \text{ А}$
	$B_k = 45,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 2028 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_y = 13,4 \text{ кА}$	$i_{дин} = 126 \text{ кА}$
	$r_2 = 0,411 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом}$

### 2.3.3 Выбор измерительных трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения предназначены для понижения высокого напряжения до стандартного значения 100 вольт, а так же для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Нагрузка трансформаторов напряжения представлена в таблице 8 [5, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 8 – Нагрузка трансформаторов напряжения

Место установки	Прибор	Тип	$S_{обм},$ В·А	$n_{обм}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{приб}$	Потр. мощн.	
								P, Вт	Q, ВАр
Сторона СН автотр-ра	Вольтметр	Э — 335	2,0	1	1	0	2	4,0	0,0
	Ваттметр	Д — 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Варметр	Д — 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Счетчик W	СЭТ- 4ТМ	0,02	—	—	—	2	0,04	0,0
	Счетчик V	СЭТ- 4ТМ	0,02	—	—	—	2	0,04	0,0
Итого								10,1	0,0

Намечаем установку трансформатора напряжения типа НКФ-110[5, стр. 634, табл. П.4.6].

Параметры трансформатора напряжения

- номинальное напряжение  $U_{ном} = 110$  кВ;
- номинальная мощность  $S_{ном} = 400$  кВ;
- класс точности 0,5.

Проверка трансформатора напряжения

- по напряжению установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 110 \text{ кВ} = U_{ном} = 110 \text{ кВ};$$

- по напряжению установки  $S_2 \leq S_{ном}$

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{10,1^2 + 0^2} = 10,1 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{ном} = 400 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напряжения проходит по результатам проверок.

Для соединения трансформаторов напряжения с приборами принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил равным  $4\text{мм}^2$  по условию механической прочности [3, стр. 375].



### 2.3.4 Выбор высокочастотного заградителя

Намечаем к установке выключатель типа ВЗ-630-0,5 УХЛ1[7]

Параметры заградителя

- номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$ ;
- номинальный ток  $I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$ ;
- ток электродинамической стойкости  $I_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$ ;
- пик тока электродинамической стойкости  $i_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$ ;
- ток термической стойкости  $I_{\text{тер}} = 20 \text{ кА}$ ;
- длительность протекания тока термической стойкости  $t_{\text{тер}} = 1 \text{ с}$ ;
- номинальная индуктивность реактора  $0,5 \text{ мГн}$ .

Проверка заградителя

- по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$

$$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ};$$

- по току  $I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$

$$I_{\text{max}} = 549,5 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 630 \text{ А};$$

- по электродинамической стойкости  $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$

$$i_{\text{уд}} = 13,4 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 51 \text{ кА};$$

- по термической стойкости  $B_{\text{к}} \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$

$$B_{\text{к}} = 45,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{\text{к}} < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}.$$

Заградитель проходит по результатам проверок. Расчеты по выбору заградителя сведем в таблицу 9.

Таблица 9 – Выбор заградителя

Расчетные данные	Заградитель ВЗ-630-0,5 УХЛ1
$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$

$I_{\max} = 549,5 \text{ A}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ A}$
$i_y = 13,4 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 45,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

### 3. Механический расчёт ВЛ 110 кВ Вертикос–Мыльджино.

При проектировании, сооружении и эксплуатации сетей электрических систем приходится решать вопросы конструктивного выполнения воздушных линий электропередачи. Выбор конструкции воздушных линий оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели и надежность работы смежных инженерных сооружений (линий связи, транспортных магистралей и т.п.)

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

- материалов и конструкций проводов и грозозащитных тросов;
- конструкций и параметров изоляции и линейной арматуры;
- расчетных длин промежуточных пролетов линии;
- механических нагрузок и сил, действующих на провода, тросы и опоры;
- наибольших стрел провеса проводов и тросов;
- выбор материалов, типов и иных характеристик конструкций опор;
- расстановки промежуточных, анкерных и анкерно-угловых опор по трассе линии;
- выбор материала и типа фундаментов опор и т.д.

В связи свыше изложенным, в данной работе были поставлены следующие задачи:

- 1 Рассчитать удельные механические нагрузки от внешних воздействий на провода;
- 2 Определить физико-механические характеристики проводов воздушной линии;
- 3 Вычислить критические длины пролетов и выбрать определяющие климатические условия для расчета сталеалюминевых проводов на прочность;

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Сухинин В.В.			<b>Механический расчёт ВЛ 110 кВ Вертикос– Мыльджино</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		Панкратов А.В.					43	133
<i>Реценз.</i>						<b>ТПУ ЭНИН гр. 3-9201</b>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		Прохоров А.В.						

- 4 Рассчитать критическую температуру и выявить климатические условия, соответствующие наибольшему провисанию проводов;
- 5 Определить габаритный пролет;
- 6 Выбор изоляторов для промежуточной опоры;
- 7 Выбор изоляторов для анкерной опоры;
- 8 Построение расстановочного шаблона;
- 9 Заключение по работе.

### Исходные данные

Исходные данные приведены ниже в таблице 10

Таблица 10 - Исходные данные

	Номинальное напряжение ВЛ в кВ, длина ВЛ в км, марка провода, количество цепей, местность, температуры в град. С
	U <sub>ном</sub> =110 кВ; длина линии 88 км; марка провода АС-240; 2-х цепная Вертикос – Мыльджино.

Примечание: температура образования гололедных отложений на проводах принята  $t_2 = -4^{\circ}\text{C}$ .

Трасса сооружаемой 2<sup>х</sup> цепной воздушной линии на номинальное напряжение 110 кВ проходит по региону Томск, относящемуся к 2-му району по толщине стенки гололеда[2, рис.2.5.2.]; к первому району по ветровому давлению[2, рис.2.5.1.] с наимизшей температурой  $t_- = -50^{\circ}\text{C}$ ; наивысшей температурой  $t_+ = +38^{\circ}\text{C}$  и среднегодовой температурой  $t_{сг} = +0,9^{\circ}\text{C}$ . Провода подвешены на свободностоящих стальных опорах марки П 110-4В и на анкерных опорах У110-4.

### 3.1 Расчёт механических нагрузок на провода от внешних воздействий

#### 3.1.1 Постоянная нагрузка

1. Постоянно действующая нагрузка от собственной массы провода

$$P_n = M_n \cdot g \cdot 10^{-3} = 9,026 \text{ H / м},$$

где  $M_n$  - масса провода,  $g = 9,8 \text{ м / с}^2$  - ускорение свободного падения

2. Удельная действующая нагрузка от собственной массы провода

$$\gamma_n = \frac{P_n}{F} = \frac{9,026}{275,7} = 0,033 \text{ H / (м} \cdot \text{мм}^2)$$

#### 3.1.2 Нормативные нагрузки

1. Нормативная гололёдная нагрузка на 1м провода

$$P_{zn}^H = \pi \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_9 (d_n + k_i \cdot k_d \cdot b_9) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3}$$

где  $k_i, k_d$  - коэффициенты, учитывающие изменение толщины стенки гололёда по высоте в зависимости от диаметра провода [2, табл. 2.5.4];

$b_9$  - толщина стенки гололёда, мм;

$d_n$  - диаметр провода, мм;

$\rho = 0,9 \text{ г / см}^3$  - плотность льда

Высоту расположения приведённого центра тяжести проводов над поверхностью земли находим по формуле [2, п.2.5.54]:

$$h_{np} = h_{cp} - \frac{2}{3} \cdot f ;$$

где  $h_{cp}$  - среднеарифметическое значение высоты крепления проводов к изоляторам, м;

$f$  – стрела провисания провода в середине пролёта, м

$$\text{Принимаем } h_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{mp}^i ;$$

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

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$H_{mp}^i$  - высота крепления провода к траверсе, м

Для выбранной двуцепной опоры типа П110-4В (прил. А):

$H_{mp}^1 = 19$  м - высота крепления проводов к нижней траверсе;

$H_{mp}^2 = 19 + 4 = 23$  м - высота крепления проводов к средней траверсе;

$H_{mp}^3 = 19 + 4 + 4 = 27$  м - высота крепления проводов к верхней траверсе;

$$h_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n H_{mp}^i}{n} = \frac{19 + 23 + 27}{3} = 23 \text{ м}$$

Согласно техническим характеристикам провода, при среднеэксплуатационной работе линии, провод марки АС-240/32 имеет поперечное сечение проводника  $244 \text{ мм}^2$  и поперечное сечение сердечника  $31,7 \text{ мм}^2$ .

Отношение сечений алюминиевой части провода и сечения стального сердечника провода:

$$\frac{F_A}{F_C} = \frac{244}{31,7} = 7,697 \approx 7,7$$

В соответствии с [2, табл. 2.5.7], допустимое напряжение при среднегодовой температуре для сталеалюминиевых проводов сечением  $150-800 \text{ мм}^2$  при  $\frac{F_A}{F_C} = 7,8$  составляет  $\sigma_{сз} = 84 \text{ Н / мм}^2$ . Для промежуточных стальных

опор П110-4В по [5, табл. 1.37] длина пролёта может быть  $365-445 \text{ м}$ . Принимаем длину пролёта  $l = 370 \text{ м}$ . Тогда стрела провеса провода:

$$f = \frac{\gamma_n \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{сз}} = \frac{0,033 \cdot 370^2}{8 \cdot 84} = 6,72 \text{ м}$$

Высота расположения приведённого центра тяжести:

$$h_{np} = h_{cp} - \frac{2}{3} f = 23 - \frac{2}{3} 6,72 = 18,52 \text{ м}$$

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Нормативная гололёдная нагрузка:

$$P_{zn}^H = \pi \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_{\text{э}} (d_n + k_i \cdot k_d \cdot b_{\text{э}}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} = \\ = 3,14 \cdot 1,002 \cdot 0,884 \cdot 15 (21,6 + 1,002 \cdot 0,884 \cdot 15) \cdot 0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 12,83 \text{ Н / м}$$

1. Нормативная ветровая нагрузка, действующая на 1 м провода без гололёда:

$$P_{wn}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot W \cdot F \cdot \sin^2 \varphi,$$

где  $\alpha_w = 0,71$  – коэффициент, учитывающий неравномерность ветрового давления по пролету ВЛ [2, п. 2.5.52];

$k_l = 1$  - коэффициент, учитывающий влияние длины пролёта на ветровую нагрузку;

$k_w = 0,7$  - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности (принят тип С) [2, табл. 2.5.2];

$C_x = 1,1$  - коэффициент лобового сопротивления, для проводов свободных от гололёда, диаметром 20 мм и более [2, п. 2.5.52];

$W = W_0 = 500 \text{ Па}$  – нормативное ветровое давление в рассматриваемом режиме;

$F$  - площадь продольного диаметрального сечения провода без гололёда,  $\text{м}^2$

$$F = d_n \cdot l \cdot 10^{-3} = 21,6 \cdot 1 = 0,022 \text{ м}^2;$$

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

Получаем:

$$P_{wn}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot W \cdot F \cdot \sin^2 \varphi = 0,76 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 500 \cdot 0,022 \cdot 1 = 6,43 \text{ Н / м}$$

2. Нормативная ветровая нагрузка, действующая на 1м провода с гололёдом:

$$P_{wnz}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot W_2 \cdot F_2 \cdot \sin^2 \varphi,$$

где  $W_2 = 0,25 \cdot W = 0,25 \cdot 500 = 125 \text{ Па}$  - гололёдное ветровое давление, но в соответствии с [2, п.2.5.43] для ВЛ 110 кВ принимаем  $W_2 = 160 \text{ Па}$ ;

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$C_x = 1,1$  - коэффициент лобового сопротивления, для проводов покрытых гололедом, диаметром 20 мм и более [2, п. 2.5.52];

$F_2$  - площадь продольного диаметрального сечения провода с гололёдом рассчитывается по формуле:

$$F_2 = (d_n + 2 \cdot k_l \cdot k_w \cdot b_9) \cdot 10^{-3} = (21,6 + 2 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 15) \cdot 10^{-3} = 0,042 \text{ м}^2$$

$$P_{wn2}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot W_2 \cdot F_2 \cdot \sin^2 \varphi = 0,76 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1,2 \cdot 160 \cdot 0,042 = 4,29 \text{ Н/м}$$

### 3.1.3 Расчётные нагрузки

1. Расчётная гололёдная нагрузка на 1 м провода:

$$P_{n2} = P_{n2}^H \cdot \gamma_{n2} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \cdot \gamma_d,$$

где  $\gamma_{n2} = 1,3$  - коэффициент надёжности по ответственности для двухцепных опор [2, п.2.5.55];

$\gamma_p = 1$  - региональный коэффициент по [2, п.2.5.55];

$\gamma_f = 1,3$  - коэффициент надёжности по гололёдной нагрузке для 2 района по гололёду [2, п.2.5.55];

$\gamma_d = 0,5$  - коэффициент условий работы по [2, п.2.5.55]

$$P_{n2} = 12,83 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 0,5 = 10,84 \text{ Н / м}$$

2. Удельная гололёдная нагрузка:

$$\gamma_{gn} = \frac{P_{n2}}{F} = \frac{10,84}{275,7} = 0,039 \text{ Н / (м} \cdot \text{мм}^2)$$

3. Расчётная ветровая нагрузка на 1 м провода без гололёда:

$$P_{wn} = P_{wn}^H \cdot \gamma_{wn} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f,$$

где  $\gamma_{wn} = 1$  - коэффициент надёжности по ответственности по [2, п.2.5.54];

$\gamma_p = 1$  - региональный коэффициент по [2, п.2.5.54];

$\gamma_f = 1,3$  - коэффициент надёжности по ветровой нагрузке по [2, п.2.5.54]

$$P_{wn} = 4,29 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 5,57 \text{ Н / м}$$

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48



4. Удельная ветровая нагрузка на провод без гололёда:

$$\gamma_{wn} = \frac{P_{wn}}{F} = \frac{5,57}{275,7} = 0,02 \text{ Н} / (\text{м} \cdot \text{мм}^2)$$

5. Расчетная ветровая нагрузка на 1 м провода с гололёдом:

$$P_{wnz} = P_{wnz}^H \cdot \gamma_{wn} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 5,57 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 7,241 \text{ Н} / \text{м}$$

6. Удельная ветровая нагрузка на провод с гололёдом:

$$\gamma_{wnz} = \frac{P_{wnz}}{F} = \frac{7,241}{275,7} = 0,026 \text{ Н} / (\text{м} \cdot \text{мм}^2)$$

### 3.1.4 Результирующие нагрузки

1. Результирующая нагрузка от веса провода и веса гололёда:

$$P_{\Sigma 1} = P_n + P_{nz} = 9,026 + 10,84 = 19,866 \text{ Н} / \text{м}$$

$$\gamma_{\Sigma 1} = \frac{P_{\Sigma 1}}{F} = \frac{19,866}{275,7} = 0,072 \text{ Н} / (\text{м} \cdot \text{мм}^2)$$

2. Результирующая нагрузка на провод без гололеда от давления ветра:

$$P_{\Sigma 2} = \sqrt{P_n^2 + P_{wn}^2} = \sqrt{9,026^2 + 5,57^2} = 10,606 \text{ Н} / \text{м}$$

$$\gamma_{\Sigma 2} = \frac{P_{\Sigma 2}}{F} = \frac{10,606}{275,7} = 0,038 \text{ Н} / (\text{м} \cdot \text{мм}^2)$$

3. Результирующая нагрузка на провод с гололедом от давления ветра:

$$P_{\Sigma 3} = \sqrt{P_{\Sigma 1}^2 + P_{wnz}^2} = \sqrt{19,866^2 + 7,241^2} = 21,144 \text{ Н} / \text{м}$$

$$\gamma_{\Sigma 3} = \frac{P_{\Sigma 3}}{F} = \frac{21,144}{275,7} = 0,076 \text{ Н} / (\text{м} \cdot \text{мм}^2)$$

Полученные результаты сведём в таблицу 11:

Таблица 11 - Нагрузки, действующие на провод

Название	Нормативная, Н/м	Расчетная, Н/м	Удельная, Н/(м*мм <sup>2</sup> )
Постоянно действующая	-	9,026	0,033

нагрузка от собственной массы провода			
Гололёдная нагрузка, действующая на 1 м провода	12,83	10,84	0,039
Ветровая нагрузка, действующая на 1 м провода без гололеда перпендикулярно проводу	6,43	5,57	0,02
Ветровая нагрузка, действующая на 1 м провода с гололедом перпендикулярно проводу	4,29	7,241	0,026
Результирующая нагрузка 1	-	19,866	0,072
Результирующая нагрузка 2	-	10,606	0,038
Результирующая нагрузка 3	-	21,144	0,076

Таким образом, наибольшей нагрузкой является результирующая нагрузка на провод с гололёдом от давления ветра. В дальнейших расчётах принимаем

$$\gamma_{нб} = \gamma_{\Sigma 3} = 0,076 \text{ Н} / (\text{м} \cdot \text{мм}^2)$$

### 3.2 Определение физико-механических характеристик провода воздушной линии

Согласно [2, табл. 2.5.8] для провода АС240/32 с отношением  $\frac{F_A}{F_C} = 7,7$ :

$\alpha = 19,8 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> – температурный коэффициент линейного удлинения;

$E = 7,7 \cdot 10^4$  Н/мм<sup>2</sup> – модуль продольной упругости;

Предельные значения напряжений при наибольшей нагрузке и наименьшей температуре по табл. 2.5.7 [2]:  $\sigma_{нб} = \sigma_{t_-} = 126$  Н / мм<sup>2</sup>, а также при среднегодовой температуре  $\sigma_{сэ} = 84$  Н / мм<sup>2</sup>. Каждое из этих значений не должно быть превышено в процессе работы ВЛ.

### 3.3 Определение критических длин пролетов и выбор определяющих климатических условий для расчета сталеалюминевых проводов на прочность

Согласно ПУЭ расчет воздушной линии необходимо производить для сочетания следующих условий или режимов:

#### Вариант 1

Рассчитаем изменение значений среднеэксплуатационных напряжений в проводе, которые будут возникать в пролетах различной длины, если требуется обеспечить сохранение допускаемых напряжений при возникновении наибольшей нагрузки или наибольшей температуры. Для этого составим и решим уравнение состояния провода. Искомой величиной считаем  $\sigma_{сэ}$ .

Исходные условия – возникновение наибольшей механической нагрузки  $\gamma_{нб}$ ; искомые условия – среднеэксплуатационные. Тогда уравнение состояния примет вид:

$$\sigma_{сэ} - \frac{\gamma_n^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{сэ}^2} = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сэ} - t_2)$$

Сводим к неполному кубическому:  $\sigma_{сэ}^3 - A \cdot \sigma_{сэ}^2 - B = 0$ ,

где  $A = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сэ} - t_2)$ ;  $B = \frac{\gamma_n^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24}$

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Определим, как изменится напряжение в проводе в зависимости от изменения длины пролета при возникновении наибольшей удельной нагрузки.

При  $l \Rightarrow 0$ :

$$\sigma_{сэ(1)}^{(1)} = \sigma_{нб} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сэ} - t_2) = 126 - 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 (0,9 - (-4)) = 117,005 \text{ Н / мм}^2$$

При  $l \Rightarrow \infty$ :

$$\sigma_{сэ(1)}^{(2)} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{нб}} \cdot \sigma_{нб} = \frac{0,033}{0,076} \cdot 126 = 54,7 \text{ Н / мм}^2$$

Таким образом, среднеэксплуатационное механическое напряжение в проводе при условии возникновения наибольшей нагрузки будет изменяться в пределах от 54,7 Н/мм<sup>2</sup> до 117,005 Н/мм<sup>2</sup>.

Определим зависимости коэффициентов А и В от  $l_i$ :

$$A = 126 - \frac{0,108^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24 \cdot 126^2} - 7,7 \cdot 10^4 \cdot 19,8 \cdot 10^{-6} (0,9 - (-4)) = 117,005 - 0,0023 l_i^2;$$

$$B = \frac{0,033^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24} = 3,438 l_i^2$$

Определим значение среднеэксплуатационного механического напряжения, решив неполное кубическое уравнение методом Ньютона:

$$\sigma_{k+1} = \sigma_k - \frac{f(\sigma_k)}{f'(\sigma_k)}; \quad f'(\sigma_k) = 3\sigma_k^2 - 2A\sigma_k;$$

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

Рассчитанные значения механического напряжения при длинах пролётов от 100 до 500 м представлены в таблице 12.

Таблица 12 - Результаты расчета уравнения состояния провода для варианта 1

Длина пролёта	А	В	№ итерации						
			1	2	3	4	5	6	

100	93,605	3,439·10 <sup>4</sup>	102,085	97,643	97,245	97,242	97,242	97,242
125	80,442	5,373·10 <sup>4</sup>	96,92	88,892	87,505	87,465	87,465	87,465
150	64,355	7,737·10 <sup>4</sup>	92,268	80,54	77,503	77,303	77,302	77,302
175	45,342	1,053·10 <sup>5</sup>	88,253	73,352	68,567	68,074	68,069	68,069
200	23,405	1,375·10 <sup>5</sup>	84,867	67,562	61,479	60,722	60,711	60,711
225	-1,458	1,741·10 <sup>5</sup>	82,047	63,058	56,252	55,371	55,357	55,357
250	-29,245	2,149·10 <sup>5</sup>	79,703	59,585	52,477	51,581	51,568	51,568
275	-59,958	2,6·10 <sup>5</sup>	77,756	56,905	49,744	48,889	48,877	48,877
300	-93,595	3,095·10 <sup>5</sup>	76,136	54,823	47,739	46,94	46,93	46,93
325	-130,158	3,632·10 <sup>5</sup>	74,777	53,179	46,224	45,483	45,475	45,475
350	-169,645	4,212·10 <sup>5</sup>	73,633	51,867	45,061	44,371	44,364	44,364
375	-212,058	4,835·10 <sup>5</sup>	72,664	50,806	44,148	43,503	43,497	43,497
400	-257,395	5,505·10 <sup>5</sup>	71,84	49,94	43,423	42,816	42,811	42,811
425	-305,658	6,211·10 <sup>5</sup>	71,132	49,221	42,832	42,257	42,252	42,252
450	-356,845	6,963·10 <sup>5</sup>	70,521	48,619	42,346	41,798	41,793	41,793
475	-410,958	7,758·10 <sup>5</sup>	69,991	48,111	41,942	41,416	41,412	41,412
500	-467,995	8,596·10 <sup>5</sup>	69,529	47,678	41,601	41,095	41,092	41,092

### Вариант 2

Исходные условия – действует низшая температура окружающей среды.

Искомые условия – среднеэксплуатационные:

$$\sigma_{сэ} - \frac{\gamma_n^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{сэ}^2} = \sigma_{t_-} - \frac{\gamma_n^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сэ} - t_-)$$

При  $l \Rightarrow 0$ :

$$\sigma_{сэ(2)}^{(1)} = \sigma_{t_-} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сэ} - t_-) = 126 - 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 (0,9 - (-50)) = 48,398 \text{ Н / мм}^2$$

;

При  $l \Rightarrow \infty$ :

									Лист
									53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$\sigma_{сэ(2)}^{(2)} = \frac{\gamma_n}{\gamma_n} \cdot \sigma_{t_-} = \frac{0,033}{0,033} \cdot 126 = 126 \text{ Н / мм}^2$$

Таким образом, среднеэксплуатационное механическое напряжение при условии действия низшей температуры будет изменяться в пределах от 48,398 Н/мм<sup>2</sup> до 126 Н/мм<sup>2</sup>.

Определяем зависимости коэффициентов А и В от  $l_i$ :

$$A = \sigma_{t_-} - \frac{\gamma_n^2 \cdot E \cdot l_i^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{сэ} - t_-) =$$

$$= 126 - \frac{0,033^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24 \cdot 126^2} - 7,7 \cdot 10^4 \cdot 19,8 \cdot 10^{-6} (0,9 - (-50)) = 48,398 - 0,000216 l_i^2;$$

$$B = \frac{0,033^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot l_i^2}{24} = 3,438 l_i^2$$

Рассчитанные значения механического напряжения при длинах пролетов от 100 до 500 м представлены в табл. 13.

Таблица 13 - Результаты расчета уравнения состояния провода для варианта 2

Длина пролёта	А	В	№ итерации					
			1	2	3	4	5	6
100	46,232	$3,439 \cdot 10^4$	59,886	57,094	56,868	56,867	56,867	56,867
125	45,014	$5,373 \cdot 10^4$	65,554	60,613	59,97	59,959	59,959	59,959
150	43,525	$7,737 \cdot 10^4$	71,836	64,388	63,053	63,012	63,011	63,011
175	41,765	$1,053 \cdot 10^5$	78,476	68,343	66,074	65,965	65,965	65,965
200	39,734	$1,375 \cdot 10^5$	85,244	72,386	69,016	68,792	68,791	68,791
225	37,433	$1,741 \cdot 10^5$	92,002	76,45	71,883	71,497	71,494	71,494
250	34,861	$2,149 \cdot 10^5$	98,551	80,421	74,639	74,057	74,051	74,051
275	32,018	$2,6 \cdot 10^5$	104,824	84,254	77,285	76,485	76,475	76,475
300	28,905	$3,095 \cdot 10^5$	110,784	87,92	79,819	78,793	78,777	78,777
325	25,521	$3,632 \cdot 10^5$	116,344	91,36	82,216	80,971	80,949	80,949

350	21,866	$4,212 \cdot 10^5$	121,517	94,576	84,48	83,031	83,003	83,003
375	17,94	$4,835 \cdot 10^5$	126,302	97,563	86,611	84,98	84,946	84,946
400	13,744	$5,505 \cdot 10^5$	130,731	100,336	88,619	86,829	86,789	86,789
425	9,276	$6,211 \cdot 10^5$	134,782	102,879	90,494	88,571	88,527	88,527
450	4,539	$6,963 \cdot 10^5$	138,5	105,219	92,251	90,22	90,173	90,173
475	-0,47	$7,758 \cdot 10^5$	141,905	107,365	93,893	91,779	91,73	91,73
500	-5,749	$8,596 \cdot 10^5$	145,021	109,333	95,43	93,254	93,204	93,204

На основании двух вариантов расчетов построим график зависимостей механического напряжения от длины пролета (рис. 2.1).

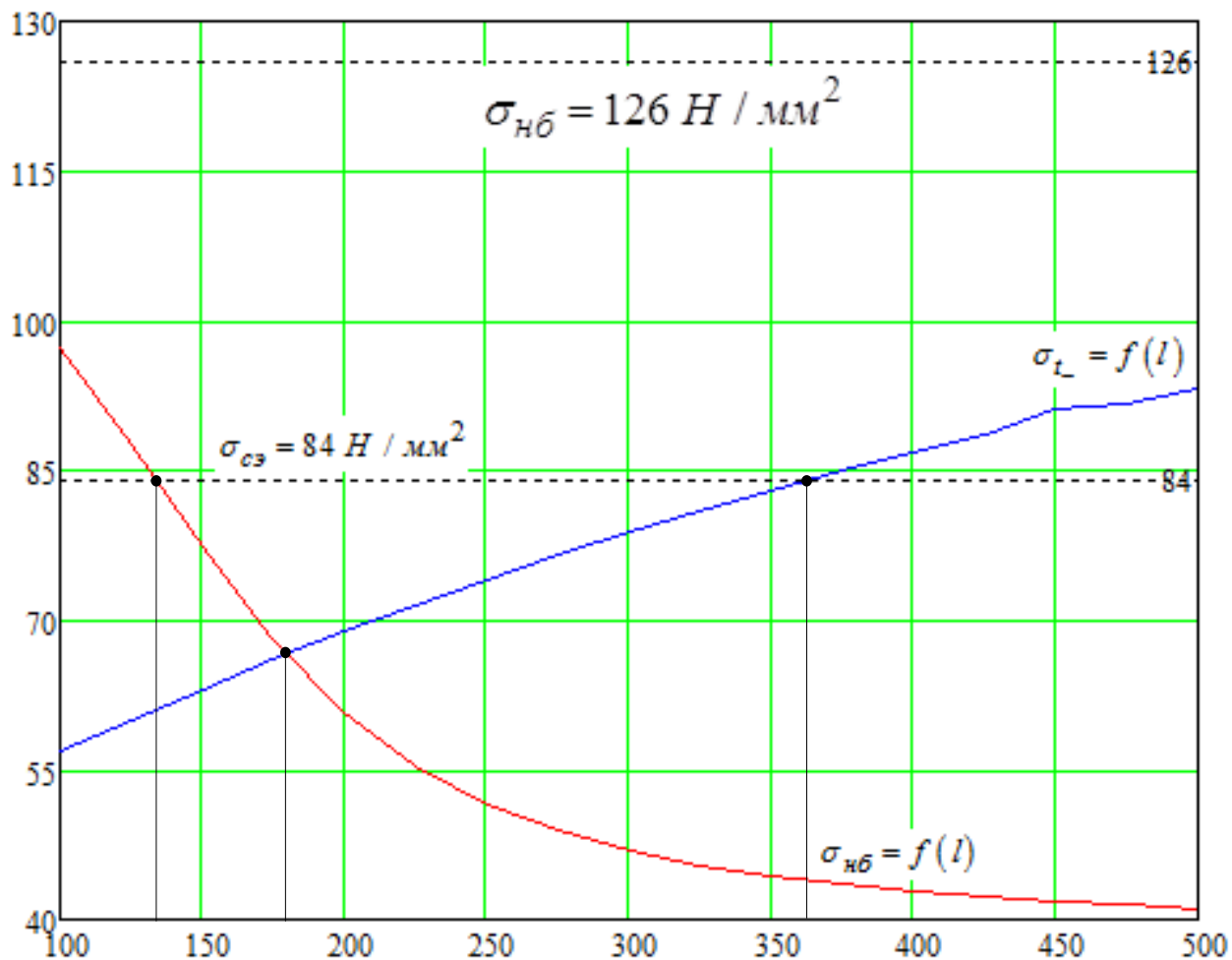


Рисунок 1.1 Зависимости механических напряжений в проводе от длины пролёта

Прямая  $\sigma_{сэ} = 84 \text{ Н / мм}^2$  пересекает зависимость напряжения в проводе от длины пролета при наибольшей нагрузке в точке при длине пролета 130 м, а зависимость напряжения в проводе от длины пролета при низшей температуре – при 370 м.

Вычисляем критические пролёты:



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

$$= 4,9 \cdot \frac{126}{0,033} \cdot \sqrt{\frac{(126 - 84) + 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 (-50 - 0,9)}{7,7 \cdot 10^4 \left[1 - \left(\frac{126}{84}\right)^2\right]}} = 362,7 \text{ м}$$

$$l_{2k} = 4,9 \cdot \frac{\sigma_{нб}}{\gamma_n} \sqrt{\frac{\alpha(t_{сэ} - t_-)}{\left(\frac{\gamma_{нб}}{\gamma_n}\right)^2 - 1}} = 4,9 \cdot \frac{126}{0,033} \cdot \sqrt{\frac{19,8 \cdot 10^{-6} (0,9 - 50)}{\left[\left(\frac{0,108}{0,033}\right)^2 - 1\right]}} = 191,2 \text{ м}$$

$$l_{3k} = 4,9 \cdot \frac{\sigma_{нб}}{\gamma_n} \sqrt{\frac{(\sigma_{нб} - \sigma_{сэ}) + \alpha \cdot E(t_2 - t_{сэ})}{E \cdot \left[\left(\frac{\gamma_{нб}}{\gamma_n}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{нб}}{\sigma_{сэ}}\right)^2\right]}} =$$

$$4,9 \cdot \frac{126}{0,033} \sqrt{\frac{(126 - 84) + 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 (-4 - 0,9)}{7,7 \cdot 10^4 \left[\left(\frac{0,108}{0,033}\right)^2 - \left(\frac{126}{84}\right)^2\right]}} = 41,96 \text{ м}$$

Для принятой вероятной длины пролёта  $l = 370$  м, её и сопоставляем с критическими длинами пролётов. В результате расчётов получили соотношение  $l_{1k} = 362,7 \text{ м} > l_{3k} = 42 \text{ м}$ , значит среднеэксплуатационный режим как расчётный отсутствует, первый и третий критические пролёты считаем фиктивными, «работающим» считаем второй критический пролёт и заданный пролёт сравниваем с  $l_{2k}$ :  $l = 370 > l_{2k} = 191,2$ , следовательно, расчётным является режим 2 - наибольших нагрузок.

### 3.4 Расчёт критической температуры

При расчете провода на прочность для конкретного пролета необходимо знать, в каком режиме стрела провеса провода имеет наибольшее значение: при образовании гололедных отложений или при наивысшей температуре. При определенной температуре воздуха стрела провеса провода, находящегося под воздействием собственного веса, достигнет такого же значения, как и при наличии гололедных образований. Такая температура называется критической.

Для расчета критической температуры принимаются безветровые режимы, так как стрела провисания – это расстояние от точки подвеса до нижней точки кривой провисания по вертикали, а действие ветра отклоняет провод от вертикального положения:

$$t_{кр} = (t_2 - 3) + \frac{\sigma_{нб}}{\alpha \cdot E} \cdot \frac{\gamma_n}{\gamma_{\Sigma 1}} = (-4 - 3) + \frac{126}{19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4} \cdot \frac{0,033}{0,072} = 30,8^\circ C$$

Так как наивысшая температура больше критической  $t_+ = 38^\circ C < t_{кр} = 30,8^\circ C$ , то наибольшая стрела провеса будет при нагрузке провода собственной массой и массой гололёда ( $\gamma_{\Sigma 1}$ ).

### 3.5 Расчёт габаритного пролёта

При расстановке опор на ровной местности наибольшая возможная длина пролета может быть определена в зависимости от максимальной стрелы провисания, которую можно определить при заданной высоте подвеса провода на опоре, и, минимальном габарите – от низшей точки кривой провисания провода до земли:

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

где  $\gamma_{[f]} = \gamma_{\Sigma 3} = 0,076 \text{ Н} / (\text{м} \cdot \text{мм}^2)$  - удельная механическая нагрузка, при которой имеет место наибольшее провисание провода;

$\gamma_{[\sigma]} = \gamma_{\Sigma 1} = 0,072 \text{ Н} / (\text{м} \cdot \text{мм}^2)$  - удельная механическая нагрузка, принятая как исходная для расчёта провода на прочность;

$\sigma = 126 \text{ Н} / \text{мм}^2$  - напряжение в проводе, принятое как исходное при расчёте провода на прочность;

$E = 7,7 \cdot 10^4 \text{ Н} / \text{мм}^2$  - модуль упругости;

$\alpha = 19,8 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$  - температурный коэффициент линейного расширения;

$t_{[\sigma]} = t_2 = -4^\circ\text{C}$  - температура, принятая как исходная для расчёта провода на прочность;

$t_{[f]} = t_+ = 38^\circ\text{C}$  - температура, при которой стрела провеса максимальна;

$$A = \left( \frac{\gamma_{[f]}}{8f} + \left( \frac{\gamma_{[\sigma]}}{\sigma} \right)^2 \cdot \frac{E}{24} \right) = \left( \frac{0,076}{8 \cdot 6,72} + \left( \frac{0,072}{126} \right)^2 \cdot \frac{7,7 \cdot 10^4}{24} \right) = 2,461 \cdot 10^{-3};$$

$$B = \left( \sigma + \alpha \cdot E (t_{[\sigma]} - t_{[f]}) \right) = \left( 126 + 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 (-4 - 38) \right) = 61,966;$$

$$C = \frac{8}{3} f^2 E = \frac{8}{3} \cdot 6,72^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 = 9,272 \cdot 10^6$$

$$l_{\text{габ}} = \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}} = \sqrt{\frac{61,966 + \sqrt{61,966^2 + 4 \cdot 2,461 \cdot 10^{-3} \cdot 9,272 \cdot 10^6}}{2 \cdot 2,461 \cdot 10^{-3}}} = 274,313 \text{ м}$$

В результате  $l_{\text{габ}} = 274,313 \text{ м} > l_{2k} = 191,201 \text{ м}$ , следовательно, расчёты верны.

Стрела провеса для габаритного пролёта:

$$f_{\text{габ}} = \frac{\gamma_n \cdot l_{\text{габ}}^2}{8\sigma_{\text{сз}}} = \frac{0,033 \cdot 274,313^2}{8 \cdot 84} = 3,695 \text{ м};$$

Длина провода в габаритном пролёте:

$$L_{\text{габ}} = l_{\text{габ}} + \frac{8}{3} \frac{f_{\text{габ}}^2}{l_{\text{габ}}} = 274,313 + \frac{8 \cdot 3,695^2}{3 \cdot 274,313} = 274,445 \text{ м}$$

### 3.6 Выбор изоляторов для промежуточной опоры

В соответствии с ПУЭ расчет изоляторов производится по методу разрушающей нагрузки. Расчетные усилия в изоляторах не должны превышать значений разрушающих нагрузок (механических или электромеханических), установленных государственными стандартами и техническими условиями. Принимаем для Вертикоса степень загрязнения атмосферы 1.

Находим весовой пролёт линии:

$$l_{вес} = 1,25 \cdot l_{заб} = 1,25 \cdot 274,313 = 342,891 \text{ м}$$

Нормативная нагрузка для поддерживающих гирлянд промежуточных опор в нормальном режиме работы ВЛ:

При наибольшей механической нагрузке:

$$2,5 \cdot (n_{\phi} \cdot \gamma_{нб} \cdot F_{нр} \cdot l_{вес} + G_2) = 2,5 \cdot (1 \cdot 0,076 \cdot 275,7 \cdot 342,891 + 400) = 18961 \text{ Н},$$

где  $n_{\phi} = 1$  - число проводов в расщеплённой фазе для ВЛ 110 кВ;

$G_2 = 400 \text{ Н}$  - средний вес гирлянды изоляторов для линии 110 кВ

При среднеэксплуатационных условиях:

$$5 \cdot (n_{\phi} \cdot \gamma_n \cdot F_{нр} \cdot l_{вес} + G_2) = 5 \cdot (1 \cdot 0,033 \cdot 275,7 \cdot 342,891 + 400) = 17598 \text{ Н}$$

В аварийном режиме:

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

Сила тяжения -  $T_{нб} = n_{\phi} \cdot \sigma_{нб} \cdot F = 1 \cdot 126 \cdot 275,7 = 34740 \text{ Н}$

$$\text{Тогда } 1,8 \sqrt{\left( \frac{n_{\phi} \cdot \gamma_{нб} \cdot F_{нр} \cdot l_{вес}}{2} + G_2 \right)^2 + (K_{р\delta} \cdot T_{нб})^2} \leq P,$$

где  $K_{р\delta} = 0,4$  - коэффициент редукции;

$$1,8 \sqrt{\left( \frac{1 \cdot 0,076 \cdot 275,7 \cdot 342,891}{2} + 400 \right)^2 + (0,4 \cdot 34740)^2} = 25835 \text{ Н}$$

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Сравнение полученных нормативных нагрузок показывает, что выбор изоляторов для поддерживающей гирлянды должен производиться по условиям послеаварийного режима (обрыва провода).

Выбираем стеклянный тарельчатый изолятор типа ПС40В [5, табл. 1.70] для районов с загрязнённой атмосферой, технические характеристики которого представлены в таблице 14

Таблица 14 - Технические характеристики изолятора ПС-40В

Минимальная Механическая разрушающая нагрузка, кН	Диаметр тарелки D, мм	Строительная высота H, мм	Длина пути утечки, мм	Масса, кг
40	255	110	320	3,0

Вычисляем длину пути утечки:

$$L = \lambda_{\text{э}} \cdot U \cdot k = 1,6 \cdot 126 \cdot 1,20 = 221,76 \text{ см},$$

где  $\lambda_{\text{э}} = 1,60 \text{ См/кВ}$  - удельная эффективная длина пути утечки по [2, табл. 1.9.1];

$U = 126 \text{ кВ}$  - наибольшее рабочее междуфазное напряжение по ГОСТ 721-77;

$k = 1,10$  - коэффициент использования длины пути утечки по [2, табл. 1.9.21]

Количество изоляторов в гирлянде:

$$m = \frac{L}{L_u} = \frac{221,76}{32} = 6,93 \approx 7 \text{ шт},$$

где  $L_u$  - длина пути утечки одного изолятора по ТУ на изолятор данного типа, см

Длина поддерживающей гирлянды изоляторов:

$$\lambda_1 = m \cdot H = 7 \cdot 127 \cdot 10^{-3} = 0,889 \text{ м}$$

Вес поддерживающей гирлянды:

$$G_2 = m \cdot M = 7 \cdot 3 = 21 \text{ кг},$$

где  $M=3$  кг – масса одного изолятора.

### Выбор изоляторов для анкерной опоры

Нормативная нагрузка для натяжных гирлянд анкерных опор в нормальном режиме работы ВЛ:

- При наибольшей механической нагрузке:

$$2,5 \sqrt{\left( \frac{\gamma_{нб} \cdot F \cdot l_{вес}}{2} + G_2 \right)^2 + (\sigma_{нб} \cdot F)^2} =$$

$$= 2,5 \sqrt{\left( \frac{0,108 \cdot 275,7 \cdot 273,3}{2} + 800 \right)^2 + (126 \cdot 275,7)^2} = 87690 \text{ Н}$$

- При среднеэксплуатационных условиях:

Длина приведённого пролёта -  $l_{пр} = 0,9 l_{заб} = 0,9 \cdot 218,72 = 196,5$ ;

$\sigma'_{сэ} = 61 \text{ Н / м}$  - для габаритного пролёта находится из зависимости

$\sigma_{нб} = f(l)$  по рис. 2.1

$$6 \sqrt{\left( \frac{\gamma_n \cdot F \cdot l_{вес}}{2} + G_2 \right)^2 + (\sigma'_{сэ} \cdot F)^2} =$$

$$= 2,5 \sqrt{\left( \frac{0,033 \cdot 275,7 \cdot 273,3}{2} + 800 \right)^2 + (61 \cdot 275,7)^2} = 101600 \text{ Н},$$

Из расчетов видно, что выбор изоляторов для анкерных опор следует проводить для нормативной нагрузки при среднеэксплуатационных условиях.

Выбираем изолятор типа ПСВ70А[2, табл. 1.70], технические характеристики которого представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Технические характеристики изолятора ПСВ70А.

Механическая разрушающая сила, Н.	Диаметр тарелки, D, мм.	Н, мм	Длина пути утечки, $L_u$ , мм	Масса, кг

70000	280	146	442	5,6
-------	-----	-----	-----	-----

Длину пути утечки:

$$L = \lambda_3 \cdot U \cdot K = 1,6 \cdot 126 \cdot 1,438 = 289,9 \text{ см.}$$

где  $\lambda_3$  - удельная эффективная длина пути утечки тока [1, т. 1.4.9];

$K = 1,438$  - коэффициент эффективности [1, т. 1.9.20; т. 1.9.22].

Количество изоляторов:

$$m = \frac{L}{L_u} = \frac{289,9}{44,2} = 6,55 \approx 7 \text{ шт.}$$

Длина натяжных гирлянд изоляторов:

$$\lambda_1 = m \cdot H = 7 \cdot 0,146 = 1,022 \text{ м.}$$

Вес гирлянды:

$$G_2 = m \cdot M = 7 \cdot 5,6 = 39,2 \text{ кг.}$$

### 3.7 Построение расстановочного шаблона

Профиль земли редко бывает ровным, поэтому в условиях неровного профиля расстановка опор производится с помощью расстановочного шаблона. Шаблон представляет собой три кривые (параболы), расположенные друг над другом с определенным сдвигом по вертикали.

При расчете и построение шаблона учитываются:

1. Допустимый габарит не должен быть меньше чем регламентировано в ПУЭ;
2. Нагрузка на опоры не должна превышать значений принятых для опор соответствующих типов.

Шаблон строится на основании расчета ординат кривой максимального провисания провода.

Значение напряжения на данном этапе неизвестно, поэтому используем основное уравнение состояния провода:

$$\sigma_{габ} - \frac{\gamma_n^2 \cdot E \cdot l_{габ}^2}{24\sigma_{габ}^2} = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_n^2 \cdot E \cdot l_{габ}^2}{24\sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{с2} - t_2)$$

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Введём расчётные коэффициенты:

$$A = \sigma_{нб} - \frac{\gamma_n^2 \cdot E \cdot l_{габ}^2}{24\sigma_{нб}^2} - \alpha \cdot E \cdot (t_{с2} - t_2) =$$

$$= 126 - \frac{0,033 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot 274,313}{24 \cdot 126^2} - 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot (0,9 - 4) = 106,65$$

$$B = \frac{\gamma_{\Sigma 3}^2 \cdot E \cdot l_{габ}^2}{24} = \frac{0,076^2 \cdot 7,7 \cdot 10^4 \cdot 274,313}{24} = 5,083 \cdot 10^6$$

Получаем:  $\sigma_{габ} - \frac{B}{\sigma_{габ}^2} = A$ , приводим к неполному кубическому уравнению:

$$\sigma_{габ}^3 - A \cdot \sigma_{габ}^2 - B = 0$$

Определяем значение габаритного механического напряжения, решая уравнение методом Ньютона:

$$\sigma_{габ1} = \sigma_{габ} - \frac{\sigma_{габ}^3 - A \cdot \sigma_{габ}^2 - B}{3 \cdot \sigma_{габ}^2 - 2A \cdot \sigma_{габ}}$$

Очевидно, что  $\sigma_{габ}$  должно быть меньше, чем  $\sigma_{нб}$ , поэтому на начальной итерации принимаем  $\sigma_{габ0} = 126 \text{ Н / мм}^2$ . Результаты итерационного процесса приведены в таблице 16

Таблица 16 Расчёт габаритного механического напряжения

$\sigma_{габ1}$	$\sigma_{габ2}$	$\sigma_{габ3}$	$\sigma_{габ4}$	$\sigma_{габ5}$
111,2	106,99	106,66	106,655	106,655

Принимаем по результатам расчёта  $\sigma_{габ} = 106,655 \text{ Н / мм}^2$

Рассчитываем коэффициент шаблона:

$$k_{ш} = \frac{\gamma_{нб} \cdot 10^4}{2 \cdot \sigma_{габ}} = \frac{0,108 \cdot 10^4}{2 \cdot 106,655} = 5,045$$



Задаваясь значениями  $x = (0 \div 0,75) \cdot l_{заб}$ , находим ординаты кривой максимального провисания провода  $y_1$  (кривая 1). Результаты расчётов сводим в таблицу 17

Таблица 17 - Результаты расчётов парабол для построения шаблона

$x$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
-220	24,417	16,117	4,203
-200	20,179	11,879	-0,035
-180	16,345	8,045	-3,869
-160	12,915	4,615	-7,299
-140	9,888	1,588	-10,326
-120	7,265	-1,035	-12,949
-100	5,045	-3,255	-15,169
-80	3,229	-5,071	-16,985
-60	1,816	-6,484	-18,398
-40	0,807	-7,493	-19,407
-20	0,202	-8,098	-20,012
0	0	-8,3	-20,214
20	0,202	-8,098	-20,012
40	0,807	-7,493	-19,407
60	1,816	-6,484	-18,398

80	3,229	-5,071	-16,985
100	5,045	-3,255	-15,169
120	7,265	-1,035	-12,949
140	9,888	1,588	-10,326
160	12,915	4,615	-7,299
180	16,345	8,045	-3,869
200	20,179	11,879	-0,035
220	24,417	16,117	4,203

Кривая 2 – называется габаритной кривой. Габаритная кривая служит для проверки габарита от проводов до земли и пересекаемых инженерных сооружений. При построении сдвигается вниз по вертикали от кривой 1 на расстояние, равное требуемому габариту  $\Gamma$  [2, табл. 2.5.22]

$$h_{габ} = \Gamma + (0,3 \div 0,5) = 8 + 0,3 = 8,3 \text{ м}$$

Габарит для ВЛ 220 кВ, строящихся по населённой местности до поверхности земли составляет 8 м.

Кривая 3 – земляная кривая. Земляная кривая служит для правильного наложения шаблона без измерения и обозначения высоты подвеса провода на опорах. Ее сдвигают вниз от кривой 1 на расстояние, равное высоте подвеса провода  $h_0$  на опорах:

$$h_0 = H_{mp}^1 - \lambda_1 = 22,5 - 2,286 = 20,416 \text{ м}$$

Полученный в результате расчётов шаблон для расстановки опор по продольному профилю трассы представлен на рис. 4.

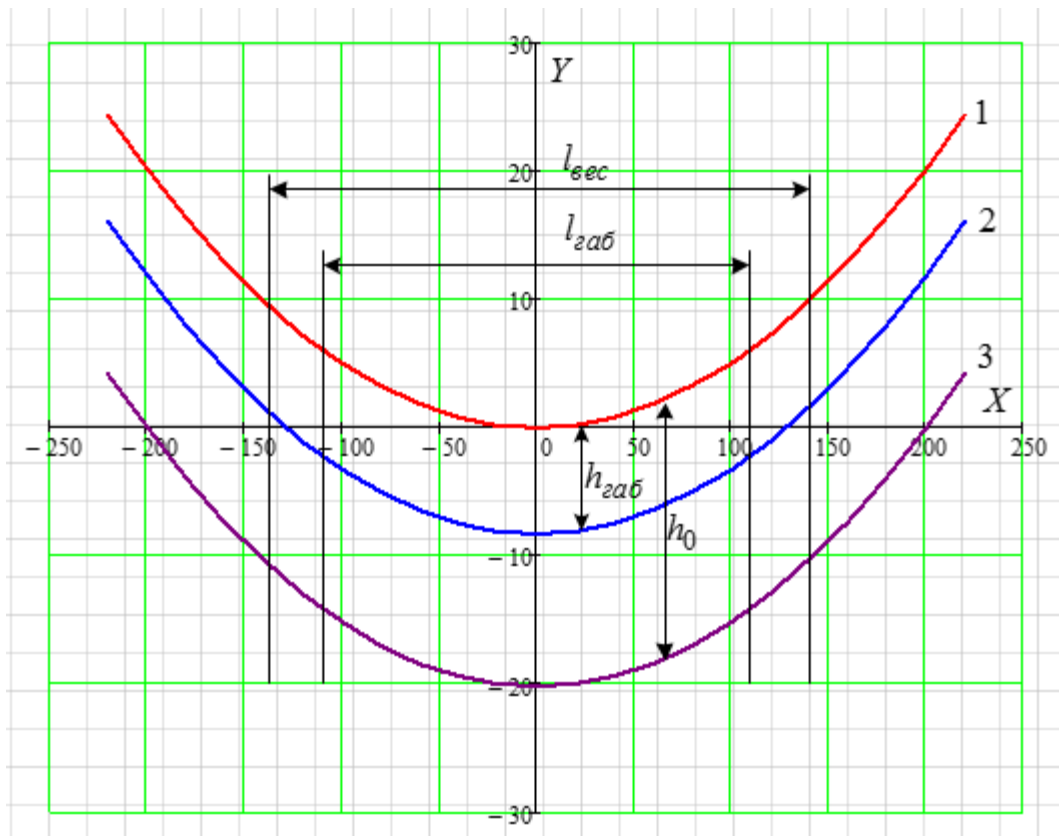


Рисунок 4 Шаблон для расстановки опор по профилю трассы

Расстановка опор по продольному профилю трассы производится следующим образом: шаблон накладывается на профиль трассы так, чтобы кривая 1 пересекала профиль в месте установки первой анкерной опоры, а кривая 2 касалась его. При этом ось  $y$  должна находиться в вертикальном положении. Тогда другая точка пересечения кривой 3 с профилем будет соответствовать месту установки первой промежуточной опоры. При таком положении шаблона во всех точках пролета габарит до земли будет не меньше допустимого. Затем шаблон передвигается и аналогичным образом находится положение следующей опоры.

### 3.8 Расчет грозозащитного троса

Согласно [1, п. 2.5.79], для ВЛ 110кВ и выше минимальное сечение троса – 50 мм<sup>2</sup>. В качестве грозозащитного троса примем трос марки ТК-9,1сечением, технические данные приведены в таблице 18.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 18 – Технические характеристики грозозащитного троса

Параметры	ТК-11
Действительная площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	50,45
Масса смазанного каната, кг/км	438,5
Диаметр троса, мм	9,2

Высота гирлянды изоляторов на промежуточной опоре –  $\lambda_{\eta} = 1,32$  м.

Высота изолятора, зажима и узла крепления троса  $\lambda_{\Gamma} = 0,362$  м.

Температурный коэффициент линейного расширения [1, табл.2.5.8]:

$$\alpha_m = 12 \cdot 10^{-6}, \text{ град}^{-1}.$$

Модуль продольной упругости троса [1, табл.2.5.8]:

$$E_T = 18,5 \cdot 10^4, \text{ Н/мм}^2.$$

Допускаемые напряжения в тросе [1, табл.2.5.7]:

$\sigma_{m \text{ нб}} = \sigma_{m-} = 600 \text{ Н/мм}^2$ , когда на провод действует наибольшая механическая нагрузка.

$$\sigma_{m \text{ сз}} = 420 \text{ Н/мм}^2 \text{ при среднегодовой температуре воздуха.}$$

Защитный угол проводов на опоре:

$$\alpha_{ПВ} = \arctg \frac{D_B}{H_{ТС} + \lambda_{\Pi} - \lambda_{\Gamma}} = \arctg \frac{2,1}{2 + 1,32 - 0,362} = 28^0,$$

где  $D_B$  - вылеты верхней и средней траверс;

$H_{ТС}$  - высота тросостойки(рис.1).

Защитный угол проводов средних фаз:

$$\alpha_{ПС} = \arctg \frac{D_C}{H_{СВ} + H_{ТС} + \lambda_{\Pi} - \lambda_{\Gamma}} = \arctg \frac{2,1}{2 + 4 + 1,32 - 0,362} = 29^0$$

Согласно[1, п. 2.5.120], значение защитного угла для одностоечных металлических опор с одним тросом не должно превышать допустимого значения  $30^0$ .

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Определим нагрузки, действующие на трос.

### 3.8.1 Нагрузки, действующие на трос

1. Постоянно действующая нагрузка от собственного веса троса:

$$P_T = M_T \cdot g \cdot 10^{-3} = 438,5 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 4,297 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_T = \frac{P_T}{F_T} = \frac{4,297}{50,45} = 0,085 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2\text{)}.$$

2. Гололедная нагрузка на 1м троса:

а) нормативная:

$$P_{\Sigma T}^H = \pi \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_{\vartheta} \cdot (d_T + k_i \cdot k_d \cdot b_{\vartheta}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-3} = \\ = 3,14 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 15 \cdot (9,2 + 1 \cdot 0,7 \cdot 15) \cdot 0,9 \cdot 9,8 \cdot 10^{-3} = 5,728 \text{ Н/м};$$

б) расчетная:

$$P_{\Sigma T} = P_{\Sigma T}^H \cdot \gamma_{\Pi\Gamma} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f \cdot \gamma_d = 5,728 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 0,5 = 3,7232 \text{ Н/м};$$

в) удельная:

$$\gamma_{\Sigma T} = \frac{P_{\Sigma T}}{F_T} = \frac{3,7232}{50,45} = 0,073 \text{ (Н/(м} \cdot \text{мм}^2\text{))}.$$

3. Ветровая нагрузка на 1м троса без гололеда:

- ветровое давлению атмосферного перенапряжения:

а) нормативная:

$$P_{wma}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot W_a \cdot F_m \cdot \sin \varphi = 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 9,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = \\ = 0,69 \text{ Н/м}.$$

$$W_a = 0,06 \cdot W, \text{ но не менее } 50 \text{ Па [1, п. 2.5.73],}$$

$$W_a = 0,06 \cdot 400 = 24 \text{ Па} < 50 \text{ Па} \rightarrow W_a = 50 \text{ Па}.$$

Согласно [1, п. 2.5.52]  $\alpha_W = 1$ ,  $k_l = 1$ ,  $k_W = 1,25$ ,  $C_X = 1,2$ ,  $F_T = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

б) расчетная:

$$P_{wma} = P_{wma}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 0,69 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 0,98767 \text{ Н/м}.$$

в) удельная:

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

$$\gamma_{wma} = \frac{P_{wma}}{F_T} = \frac{0,9867}{50,45} = 0,019 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2\text{)}.$$

4. Ветровая нагрузка на 1 м троса с гололедом:

а) нормативная:

$$P_{wma}^H = \alpha_w \cdot k_l \cdot k_w \cdot C_x \cdot W_a \cdot (d_m + 2 \cdot k_i \cdot k_d \cdot b_{\text{э}}) \cdot 10^{-3}$$

$$P_{wma}^H = 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot (9,2 + 2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 15) \cdot 10^{-3} = 2,715 \text{ Н/м}.$$

б) расчетная:

$$P_{wma} = P_{wma}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 2,715 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 4,778 \text{ Н/м}.$$

в) удельная:

$$\gamma_{wma} = \frac{P_{wma}}{F_T} = \frac{4,778}{50,45} = 0,094 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2\text{)}.$$

5. Результирующая нагрузка от массы троса и гололеда:

$$P_{\Sigma 1T} = P_T + P_{2T} = 4,297 + 3,723 = 8,02 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma 1T} = \gamma_T + \gamma_{2T} = 0,085 + 0,073 = 0,158 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2\text{)}.$$

6. Результирующая нагрузка на трос без гололеда от давления ветра:

$$P_{\Sigma 2T} = \sqrt{P_T^2 + P_{wma}^2} = \sqrt{4,297^2 + 0,987^2} = 4,408 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma 2T} = \frac{P_{\Sigma 2T}}{F_T} = \frac{4,408}{50,45} = 0,087 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2\text{)}.$$

7. Результирующая нагрузка на трос с гололедом от давления ветра:

$$P_{\Sigma 3T} = \sqrt{P_{\Sigma 1T}^2 + P_{wma}^2} = \sqrt{8,02^2 + 4,778^2} = 9,335 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma 3T} = \frac{P_{\Sigma 3T}}{F_T} = \frac{9,335}{50,45} = 0,185 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2\text{)}.$$

Из расчетов видно, что наибольшей результирующей нагрузкой является нагрузка на трос с гололедом от давления ветра.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Так как ветровая нагрузка на трос без гололеда рассчитывалась для условий атмосферных перенапряжений, то и нагрузку на провод без гололеда необходимо пересчитать для этих же условий.

8. Ветровая нагрузка на провод для условий атмосферных перенапряжений:

а) нормативная:

$$P_{wn}^H = \alpha_W \cdot k_l \cdot k_W \cdot C_x \cdot W_a \cdot F_{\Pi} \cdot \sin \varphi = 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 50,45 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 3,783 \text{ Н/м};$$

б) расчетная:

$$P_{wna} = P_{wn}^H \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f = 3,783 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 5,409 \text{ Н/м}.$$

в) удельная:

$$\gamma_{wna} = \frac{P_{wna}}{F_{\Pi}} = \frac{5,409}{50,45} = 0,107 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2\text{)}.$$

9. Результирующая нагрузка на провод без гололеда от давления ветра:

$$P_{\Sigma 2na} = \sqrt{P_{\Pi}^2 + P_{wna}^2} = \sqrt{4,408^2 + 5,409^2} = 6,977 \text{ Н/м};$$

$$\gamma_{\Sigma 2na} = \frac{P_{\Sigma 2na}}{F_{\Pi}} = \frac{6,977}{50,45} = 0,138 \text{ Н/(м} \cdot \text{мм}^2\text{)}.$$

Угол отклонения провода от вертикальной плоскости:

$$\beta = \arctg\left(\frac{\gamma_{wna}}{\gamma_{\Sigma 2na}}\right) = \arctg\left(\frac{0,107}{0,138}\right) = 0,65$$

Стрела провисания провода при температуре атмосферных перенапряжений

$t_a = +15^{\circ}\text{C}$ :

$$f_{na}^3 + 0,375 \cdot \left(\frac{A \cdot l_{np}^2}{E}\right) \cdot f_{na} - \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma_{\Sigma 2na} \cdot l_{np}^4}{E} = 0, \text{ где}$$

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

$$A = \sigma_- - \frac{\gamma_n^2 \cdot E \cdot l_{np}^2}{24 \cdot \sigma_-^2} + \alpha E(t_- - t_a) =$$

$$= 126 - \frac{0,104^2 \cdot 18,5 \cdot 10^4 \cdot 274,313^2}{24 \cdot 126^2} + 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 18,5 \cdot 10^4 (-50 - 15) = 507,26;$$

$$D = 0,375 \cdot \left( \frac{A \cdot l_{np}^2}{E} \right) = 0,375 \cdot \left( \frac{507,26 \cdot 274,313^2}{18,5 \cdot 10^4} \right) = 77,37;$$

$$F = \frac{3}{64} \cdot \frac{\gamma_{\Sigma 2na} \cdot l_{np}^4}{E} = \frac{3}{64} \cdot \frac{0,138 \cdot 274,313^4}{18,5 \cdot 10^4} = 197,98;$$

$$f_{na}^3 + D \cdot f_{na} - F = 0.$$

В качестве первого приближения для расчета методом Ньютона принято ранее определенное значение стрелы провисания  $f_{\text{заб}} = 3,624$  м. Расчеты итераций сведем в таблицу 19.

Таблица 19 – Расчет итераций

Номер итерации	Значение
$f_{na+1}$	3,624
$f_{na+2}$	3,105
$f_{na+3}$	3,017
$f_{na+4}$	3,014
$f_{na+5}$	3,014

Напряжение в нижней точке провода при атмосферных перенапряжениях:

$$\sigma_{na} = \frac{\gamma_{\Sigma 2na} \cdot l_{np}^2}{8 \cdot f_{na}} = \frac{0,138 \cdot 274,313^2}{8 \cdot 3,014} = 430,66 \text{ Н/мм}^2.$$

Максимальная стрела провисания провода при атмосферных перенапряжениях:

$$l_{\max} = 1,25 \cdot l_{\text{заб}} = 1,25 \cdot 274,445 = 343,05 \text{ м};$$



$$f_{na \max} = f_{na} \cdot \left( \frac{l_{\max}}{l_{np}} \right)^2 = 3,014 \cdot \left( \frac{343,05}{274,313} \right)^2 = 4,713 \text{ м.}$$

Вертикальная проекция максимальной стрелы провисания:

$$f_{na \max}^B = f_{na \max} \cdot \cos \beta = 4,71 \cdot \cos(16,07^\circ) = 4,608 \text{ м.}$$

Для длин пролета, не превышающих 1000 м, расстояние между проводом и тросом в середине пролета рассчитывается по эмпирической формуле:

$$Z = 4 + 0,015 \cdot (l_{\max} - 200) = 4 + 0,015 \cdot (274,445 - 200) = 5,116 \text{ м.}$$

Стрела провисания троса:

$$f_{та \max} = f_{na \max}^B + \lambda_n + H_{mc} - \lambda_m - Z = 4,608 + 1,804 + 4 - 0,546 - 5,116 = 4,45 \text{ м.}$$

$f_{та \max} > f_{па \max}^B$ , что недопустимо. По условию исключения прорыва грозowymi разрядами тросовой защиты рекомендуется обеспечить разность:

$$f_{na \max}^B - f_{ма \max} = 0,157 \text{ (м);}$$

$$f_{ма \max} = f_{na \max}^B - 0,157 = 4,608 - 0,157 = 4,451 \text{ м;}$$

$$Z_1 = (f_{na \max}^B - f_{ма \max}) + \lambda_n + H_{mc} - \lambda_m = 0,157 - 4,608 + 1,32 + 4 - 0,546 = 0,323 \text{ м.}$$

Защитный угол троса в середине пролета при не отклоненных ветром положениях троса и провода:

$$\alpha_{ПВ} = \arctg \frac{D_B}{Z_1} = \arctg \frac{77,31}{0,323} = 21,124^\circ < 24,005^\circ,$$

чего достаточно для эффективной защиты проводов в пролете наибольшей возможной длины.

Стальные тросы изготавливают из стальной проволоки высокого качества, свитой по спирали, поэтому режим низших температур не представляет для него опасности. Необходимо рассмотреть режим наибольших нагрузок.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

$$\sigma_{ТНб} - \frac{\gamma_{\Sigma 3Ta}^2 \cdot E_T \cdot l_{np}^2}{24 \cdot \sigma_{ТНб}^2} = \sigma_{Ta} - \frac{\gamma_{\Sigma 2Ta}^2 \cdot E_T \cdot l_{np}^2}{24 \cdot \sigma_{Ta}^2} + \alpha_T \cdot E_T \cdot (t_a - t_2);$$

$$D = \sigma_{Ta} - \frac{\gamma_{\Sigma 2Ta}^2 \cdot E_T \cdot l_{np}^2}{24 \cdot \sigma_{Ta}^2} + \alpha_T \cdot E_T \cdot (t_a - t_2) =$$

$$= 50,45 - \frac{0,138^2 \cdot 18,5 \cdot 10^4 \cdot 274,313^2}{24 \cdot 50,45^2} + 12 \cdot 10^{-6} \cdot 18,5 \cdot 10^4 (15 - (-4)) = -1985,31;$$

$$F = \frac{\gamma_{\Sigma 3Ta}^2 \cdot E_T \cdot l_{np}^2}{24} = \frac{0,185 \cdot 274,313^2 \cdot 18,5 \cdot 10^4}{24} = 51377195;$$

$$\sigma_{ТНб}^3 + D \cdot \sigma_{ТНб}^2 - F = 0;$$

$$\sigma_{ТНб+1} = \frac{\frac{2}{3} \cdot \sigma_{ТНб}^3 + \frac{F}{2}}{\frac{2}{3} \cdot \sigma_{ТНб}^2 + \frac{D}{3}}$$

В качестве первого приближения примем допускаемое напряжение для троса  $\sigma_{т нб} = 600 \text{ Н/мм}^2$ .

Расчеты итераций сведем в таблицу 20.

Таблица 20 – Расчет итераций

Номер итерации	Значение
$\sigma_{т нб+1}$	438,375
$\sigma_{т нб+2}$	364,087
$\sigma_{т нб+3}$	346,85
$\sigma_{т нб+4}$	345,961
$\sigma_{т нб+5}$	345,961

$\sigma_{тнб+5} = 345,961 \text{ Н/мм}^2 < \sigma_{тнб} = \sigma_{т-} = 600 \text{ Н/мм}^2$ , трос марки ТК-9,2 удовлетворяет требованиям обеспечения механической прочности.

### 3.9 Расчёт нагрузок, действующих на промежуточную опору П110-4В

На промежуточную опору в нормальном режиме работы ВЛ действуют нагрузки:

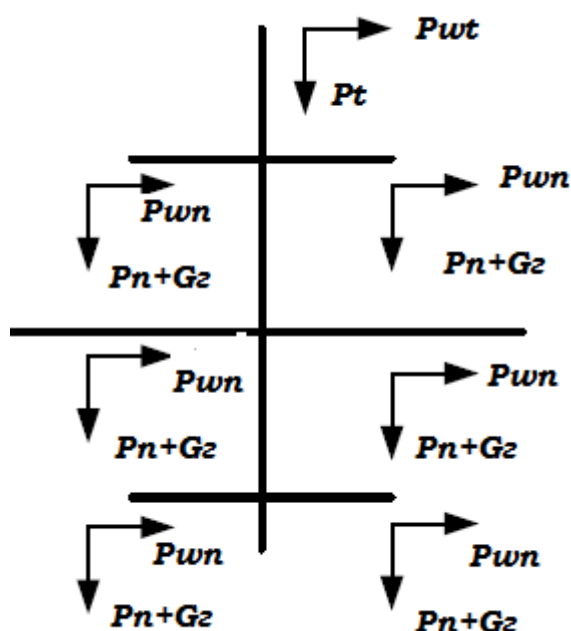


Рисунок 5 – Нагрузки, действующие на промежуточную опору

1. Нагрузка от собственного веса опоры:

$$P_{on} = M_{on} \cdot g \cdot 10^3 = 3,316 \cdot 10^3 \cdot 9,8 = 32496 \text{ Н} \cdot 10^3,$$

где  $M_{on} = 3316$  кг.

2. Нагрузка от веса гирлянды изоляторов:

$$G_{ГП} = n_{Г} \cdot G_{Г} \cdot g = 7 \cdot 3 \cdot 9,8 = 0,205 \text{ Н} \cdot 10^3,$$

где  $n_{Г}$  – количество гирлянд на опоре, шт.;

$G_{Г}$  – масса каждой гирлянды, кг;

3. Нагрузка от веса проводов на весовой пролет с учетом двух цепей и трехфазной системы:

$$P_{\Pi} = 3 \cdot P_{\Pi} \cdot l_{\text{вес}} = 2 \cdot 3 \cdot 9,026 \cdot 342,891 = 18,56 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

4. Нагрузка от веса троса на весовой пролет:

$$P_T = P_T \cdot l_{\text{вес}} = 4,297 \cdot 342,891 = 1,437 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

5. Постоянные нагрузки:

$$P_{\text{пост}} = P_{\text{он}} + G_{\text{ГП}} + P_{\Pi} + P_T = 32,496 + 0,205 + 18,56 + 1,437 = 52,7 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

6. Нагрузка от давления ветра на провода без гололеда (ветер перпендикулярно оси линии) с учетом двух цепей и трехфазной системы:

$$P_{\text{вП}} = 3 \cdot P_{\text{вн}} \cdot l_{\text{вес}} = 2 \cdot 3 \cdot 5,57 \cdot 342,89 = 11,459 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

7. Нагрузка от давления ветра на трос без гололеда:

$$P_{\text{вТ}} = P_{\text{вта}} \cdot l_{\text{вес}} = 0,98 \cdot 342,89 = 0,336 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

8. Нагрузка от веса гололеда на провод с учетом двух цепей и трехфазной системы:

$$P_{\text{ГП}} = 3 \cdot P_{\text{гп}} \cdot l_{\text{вес}} = 2 \cdot 3 \cdot 12,83 \cdot 342,89 = 26,39 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

9. Нагрузка от веса гололеда на трос:

$$P_{\text{ГТ}} = P_{\text{гт}} \cdot l_{\text{вес}} = 3,72 \cdot 342,89 = 1,27 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

10. Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки:

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A,$$

где  $k_w = 1,25$ ;  $W = 500 \text{ Па}$ ;  $C_x = 1,1$

$A$  – площадь проекции опоры,  $\text{м}^2$ .

Ширина базы опоры у ее основания – 2,8 м.

Высота опоры от основания до нижней траверсы – 19 м.

Высота опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки – 12 м.

Средняя ширина ствола опоры от траверсы до верхушки тросостойки – 0,7 м.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Площадь поверхности опоры:

$$A = 2,8 \cdot 19 + 12 \cdot 0,7 = 61,6 \text{ м}^2.$$

$$Q_C^H = 1,25 \cdot 500 \cdot 1,1 \cdot 61,6 = 42,35 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

11. Нормативная пульсационная составляющая:

$$Q_n^H = 0,5 \cdot Q_C^H = 0,5 \cdot 42,35 = 21,17 \text{ Н} \cdot 10^3;$$

$$Q = (Q_n^H + Q_C^H) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f,$$

где  $\gamma_f = 1,3$ ;  $\gamma_{nw} = 1$ ;  $\gamma_p = 1$ ;

$$Q = (21,17 + 42,35) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 82,58 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

12. Итого по кратковременным нормативным нагрузкам:

$$P_{кр} = P_{wII} + P_{ГII} + P_{wT} + P_{ГT} + Q = 11,459 + 26,39 + 0,336 + 1,27 + 82,58 = 122,035 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

13. Нагрузка на промежуточную опору:

$$P_{проп} = P_{пост} + P_{кр} = 52,7 + 122,035 = 174,73 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

### 3.10 Расчет грибовидного фундамента-подножника для промежуточной опоры

Рассчитаем основание грибовидного подножника марки Ф2-2 [1, табл. 1.16], технические данные которого приведены в таблице 12, под промежуточную опору П110-3 в нормальном режиме работы ВЛ. Грунт глинистый с показателем консистенции  $J_L = 0,54$  и коэффициентом пористости  $e = 0,45$  [4].

Таблица 13 - Технические характеристики фундамента Ф3-2

Высота фундамента $h$ , м	Глубина заложения $h_\phi$ , м	Размер стороны квадрата опорной плиты $a$ , м	Масса фундамента $G_\phi$ , т
------------------------------	--------------------------------	---	-------------------------------

2,7	2,5	1,5x1,5	2,4
-----	-----	---------	-----

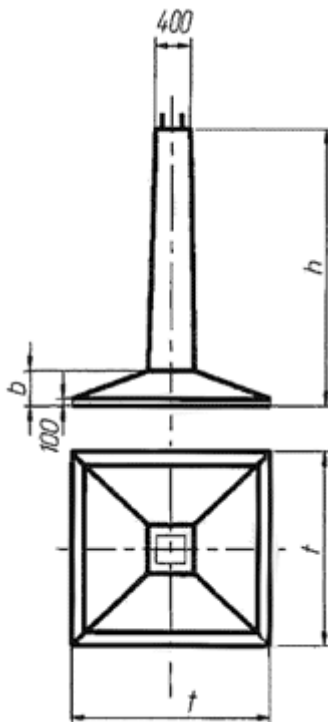


Рисунок 6 – Чертеж фундамента Ф2-2

Сжимающая нагрузка, действующая на грибовидный фундамент, равна сумме постоянных и кратковременных нормальных нагрузок, действующих на опору равна расчетной вырывающей нагрузке:

$$N_{\sigma}^p = N_c = 174,73 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

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

$$N_{\sigma}^H = 52,7 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Для глинистых грунтов с показателем консистенции  $J_L = 0,54$  и коэффициентом пористости  $e = 0,45$ :

- нормативное значение модуля деформации  $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}$ ;

- нормативный угол внутреннего трения  $\varphi_H = 25^{\circ}$ ;

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

- нормативное удельное сцепление грунта  $c_H = 12,5 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{ м}^2$ ..

Давление на грунт основания подножника, рассчитывается из условий предельных деформаций основания в нормальном режиме работы линии для значения модуля  $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{ м}$  при размере стороны квадратного подножника  $a = 1,5 \text{ м}$  и глубина заложенного фундамента  $h_\phi = 2,5 \text{ м}$ .

Давление на грунт основания подножника  $R_s = 672 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{ м}^2$  [5, П.2, табл. 2.14].

Для промежуточной прямой опоры, установленной в глинистый грунт с показателем  $J_L = 0,54$  консистенции относительным заглублением  $h/a = 2,7/1,5 = 1,8 \text{ м}$ .

Объемным весом грунта обратной засыпки при механическом уплотнении  $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{ м}^3$  расчетное давление  $R_3 = 60 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{ м}^2$  [5, П.2, табл. 2.8].

Выбираем коэффициент бокового расширения  $\mu = 0,8$  коэффициент безопасности по грунту для угла внутреннего трения  $k_\Gamma = 1,1$ , а для супеси  $k_\Gamma = 2,4$  [5, П.2, табл. 2.13].

Угол внутреннего трения обратной засыпки:

$$\varphi_0 = \mu \cdot \frac{\varphi^H}{k_\Gamma} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,1} = 18,18^\circ.$$

Удельное сцепление грунта обратной засыпки:

$$C_0 = \mu \cdot \frac{C_H}{k_\Gamma} = 0,8 \cdot \frac{12,5}{2,4} = 4,167 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{ м}.$$

Для промежуточной опоры коэффициент надежности  $k_H = 1$  [5, П.2, табл. 2.7].

### 3.10.1 Расчет на сжатие

Среднее давление по подошве фундамента:

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

$$\sigma_{cp} = \frac{N_c}{F} + \gamma_3 \cdot h_{\phi} = \frac{669}{1,5^2} + 17 \cdot 2,7 = 343,23 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м};$$

$$\sigma_{cp} \leq R_s \text{ или } 343,23 < 672 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2.$$

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

### 3.10.2 Расчет на вырывание

Вырывающая нагрузка, действующая на фундамент:

$$m \cdot R_3 \cdot F_0 + G_{\phi} \cdot 9,8 = 1,2 \cdot 60 \cdot 1,5^2 + 1,5 \cdot 9,8 = 176,7 \text{ Н} \cdot 10^3,$$

где  $m=1,2$  – коэффициент грунта;

Сравниваем нормативную нагрузку с полученной:

$$N_B^H = 52,7 < 176,7$$

Фундамент марки Ф2-2 удовлетворяет условию расчета по деформациям на вырывание.

### 3.10.2 Расчет по устойчивости (по несущей способности)

Определим объем обелиска грибовидного фундамента–подножника, если,  $a=1,2$  м:

$$a_1 = a + 2 \cdot h_{\phi} \cdot \text{tg} \varphi_0 = 1,5 + 2 \cdot 2,7 \cdot \text{tg}(18,18^\circ) = 6,9;$$

$$V_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{6} [(2 \cdot a_1 + a) \cdot a_1 + (2 \cdot a + a_1) \cdot a] = \frac{2,5}{6} \cdot [(2 \cdot 1,5 + 6,9) \cdot 6,9 + (2 \cdot 1,5 + 6,9) \cdot 1,5] = 34,65 \text{ м}^3.$$

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80



Определим сумму площадей боковых поверхностей грибовидного фундамента подножника:

$$\Sigma \omega_{\phi} = 2 \cdot h_{\phi} \cdot (a + a_1) = 2 \cdot 2,5 \cdot (1,5 + 6,9) = 42 \text{ м}^2.$$

$$\frac{1}{K_H} \cdot (N_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi} \cdot 9,8) = \frac{1}{K_H} (V_{\phi} \cdot \gamma_3 + C_0 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \Sigma \omega_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi} \cdot 9,8) =$$

$$= \frac{1}{1} \cdot (34,65 \cdot 17 + 3,125 \cdot \cos(13,6^\circ) \cdot 42 + 0,9 \cdot 2,4 \cdot 9,8) = 677,37 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

$$N_B^p \leq \frac{1}{K_H} (N_{\phi} + 0,9 G_{\phi} \cdot 9,8)$$

$174,73 < 677,37 \text{ Н} \cdot 10^3$ , следовательно, выбранный фундамент удовлетворяет условию расчета по несущей способности.

Заключение: фундамент Ф2-2 выбран верно.

### 3.11 Выбор анкерной опоры и расчет фундамента

Выберем анкерно-угловую опору марки У110-4. Определим нормативные и расчетные нагрузки на анкерную металлическую опору У110-4 в нормальном режиме работы ВЛ для дальнейшего выбора и проверки фундамента под опору.

Таблица 21 – Характеристики анкерной опоры

Марка опоры	Полная высота $H$ , м	Высота до нижней траверсы $H_t$ , м	Ширина $B$ , м	Масса $M$ , т
У110-4	23,9	10,5	4,8	6,625

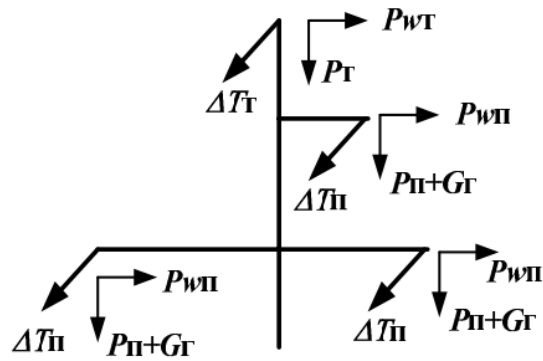


Рисунок – 7 Нагрузки, действующие на анкерную опору

### 3.11.1 Постоянные нагрузки

1. Собственный вес опоры:

$$P_{оп} = M \cdot g = 6,625 \cdot 9,8 \cdot 10^3 = 64,925 \text{ H} \cdot 10^3.$$

2. собственный вес гирлянды изоляторов:

$$G_{Г} = n_{Г} \cdot G_{Г} = 7 \cdot 5,6 \cdot 9,8 = 0,384 \text{ H} \cdot 10^3$$

3. Собственный вес проводов:

$$P_{П} = 3 \cdot 2 \cdot P_{П} \cdot l_{вес} = 3 \cdot 2 \cdot 9,026 \cdot 342,89 = 18,56 \text{ H} \cdot 10^3$$

4. Собственный вес троса:

$$P_{Т} = P_{Т} \cdot l_{вес} = 4,297 \cdot 342,89 = 1,47 \text{ H} \cdot 10^3$$

5. Итого по постоянным нормативным нагрузкам:

$$P_{ПОСТ} = P_{оп} + G_{Г} + P_{П} + P_{Т} = 64,925 + 0,384 + 18,56 + 1,47 = 85,339 \text{ H} \cdot 10^3.$$

### 3.11.2 Кратковременные нагрузки:

1. Нагрузка от давления ветра на провода без гололеда (ветер перпендикулярно оси линии) с учетом двух цепей и трехфазной системы:

$$P_{вП} = 2 \cdot 3 \cdot P_{вн} \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 6,43 \cdot 342,89 = 13,228 \text{ H} \cdot 10^3.$$

2. Нагрузка от давления ветра на трос без гололеда:

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

$$P_{wT} = P_{wTa} \cdot l_{вес} = 0,98 \cdot 342,89 = 0,336 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

3. Нагрузка от веса гололеда на провод с учетом двух цепей и трехфазной системы:

$$P_{ГП} = 3 \cdot P_{zn} \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 12,83 \cdot 342,89 = 26,39 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

4. Нагрузка от веса гололеда на трос:

$$P_{ГТ} = P_{zT} \cdot l_{вес} = 3,72 \cdot 342,89 = 1,27 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

5. Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки:

$$Q_C^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A,$$

где  $k_w = 1,25$ ;  $W = 500 \text{ Па}$ ;  $C_x = 1,1$

$A$  – площадь проекции опоры,  $\text{м}^2$ .

Ширина базы опоры у ее основания – 4,8 м.

Высота опоры от основания до нижней траверсы – 10,5 м.

Высота опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки – 13,4 м.

Средняя ширина ствола опоры от траверсы до верхушки тросостойки – 1,25 м.

Площадь поверхности опоры:

$$A = 4,8 \cdot 10,5 + 13,4 \cdot 1,25 = 67,15 \text{ м}^2.$$

$$Q_C^H = 1,25 \cdot 500 \cdot 1,1 \cdot 67,15 = 44,32 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

6. Нормативная пульсационная составляющая:

$$Q_n^H = 0,5 \cdot Q_C^H = 0,5 \cdot 44,32 = 22,16 \text{ Н} \cdot 10^3;$$

$$Q = (Q_n^H + Q_C^H) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f,$$

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

где  $\gamma_f = 1,6$ ;  $\gamma_{nw} = 1$ ;  $\gamma_p = 1$ ;

$$Q = (22,16 + 44,32) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 106,37 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

7. Итого по кратковременным нормативным нагрузкам:

$$P_{кр} = P_{wII} + P_{ГII} + P_{wT} + P_{ГT} + Q = 13,228 + 26,39 + 0,336 + 1,27 + 106,37 = 147,59 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

8. Нагрузка на промежуточную опору:

$$P_{проп} = P_{пост} + P_{кр} = 85,339 + 147,59 = 232,93 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

### 3.11.3 Расчет грибовидного фундамента - подножника под анкерную опору

Рассчитаем основание грибовидного подножника марки Ф1-А [1,табл.1.16] под анкерную опору У110-4 в нормальном режиме работы ВЛ.

Грунт представляет собой супеси с показателем консистенции  $J_L = 0,54$  и коэффициентом пористости  $e = 0,45$ .

Таблица 15 - Технические данные фундамента Ф1-А

Высота фундамента $h$ , м	Глубина заложения $h_\phi$ , м	Размер стороны квадрата опорной плиты $a$ , м	Масса фундамента $G_\phi$ , т
3,2	3	1,5×1,5	2,5

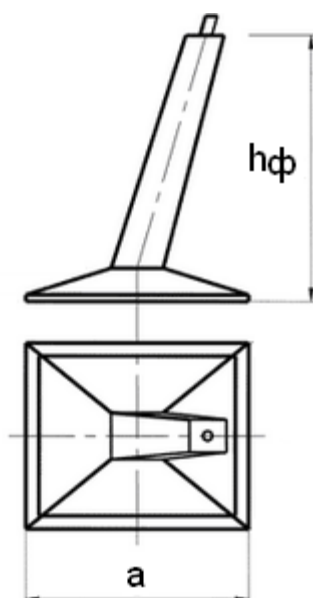


Рисунок – 8 Чертеж фундамента

Здесь:  $a$  – размер стороны квадратной опорной плиты подножника, м;

$h_{\phi}$  - глубина заложения подножника, м.

Сжимающая нагрузка, действующая на подножник, равна сумме постоянных и кратковременных нормальных нагрузок, действующих на опору У110-4 и равна расчетной вырывающей нагрузке:

$$N_{\phi}^p = N_c = 232,93 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Нормативная вырывающая нагрузка равна итоговой сумме постоянных нагрузок, действующих на опору У110-4:

$$N_{\phi}^H = 85,339 \text{ Н} \cdot 10^3$$

Для грунтов (супесей) с показателем консистенции  $J_L = 0,54$  и коэффициентом пористости  $e = 0,45$ :

-нормативное значение модуля деформации  $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}$

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

-нормативный угол внутреннего трения  $\varphi_H = 25^0$

-нормативное удельное сцепление грунта  $c_H = 12,5 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}$ .

Давление на грунт основания анкерного подножника, рассчитывается из условий предельных деформаций основания в нормативном режиме работы линии для  $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}$ , при размере стороны квадратного анкерного подножника  $a = 1,5 \text{ м}$  и глубина заложеного фундамента  $h_\phi = 3 \text{ м}$ .

$$R_s = 300 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$$

Для прямой промежуточной опоры, установленной в грунт (супеси) с показателем консистенции с  $J_L = 0,54$  относительным заглублением  $h / a = 3 / 1,5 = 2 \text{ м}$ .

Объемный вес грунта обратной засыпки при механическом уплотнении  $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{м}^3$  расчетное давление  $R_3 = 60 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$ .

Для супесей с  $J_L = 0,54$  и  $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{м}^3$  коэффициент бокового расширения  $\mu = 0,6$  коэффициент безопасности по грунту для угла внутреннего трения  $k_\Gamma = 1,1$ , а для супеси  $k_\Gamma = 2,4$ . [5, П.2, т.2.13]

Угол внутреннего трения обратной засыпки:

$$\varphi_0 = \mu \cdot \frac{\varphi_H}{k_\Gamma} = 0,8 \cdot \frac{25}{1,1} = 18,18^0$$

Удельное сцепление грунта обратной засыпки:

$$C_0 = \mu \cdot \frac{c_H}{k_\Gamma} = 0,8 \cdot \frac{12,5}{2,4} = 4,167 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}$$

### 3.11.4 Расчет по деформации (на сжатие)

Среднее давление по подошве фундамента:

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

$$\sigma_{cp} = \frac{N_c}{F} + \gamma_3 \cdot h_{\phi} = \frac{403,5}{1,5^2} + 17 \cdot 3,2 = 233,6 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$$

$$\sigma_{cp} \leq R_s \text{ или } 233,6 < 300 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$$

Условие расчета по деформациям на сжатие соблюдается, и вертикальная осадка фундамента Ф1-А находятся в допустимых пределах.

### 3.11.5 Расчет по деформациям (на вырывание)

Вырывающая нагрузка, действующая на фундамент:

$$m \cdot R_3 \cdot F + G_{\Phi} \cdot 9,8 = 1,2 \cdot 60 \cdot 1,5^2 + 4,3 \cdot 9,8 = 204,14 \text{ Н} \cdot 10^3$$

Где  $m=1,2$  – коэффициент грунта;

Сравниваем нормативную нагрузку с полученной:

$$N_B^H < m \cdot R_3 \cdot F + G_{\Phi} \cdot 9,8 \text{ или } 85,339 < 204,14 \text{ Н} \cdot 10^3$$

Фундамент марки Ф1-А удовлетворяет условию расчета по деформациям на вырывание.

Таким образом, на основании проведенных проверок можно утверждать о правильном выборе фундамента.

### 3.11.6 Расчет по устойчивости (по несущей способности)

Определим объем обелиска грибовидного фундамента–подножника марки Ф1- А, если  $a = 1,5$  м.

$$a_1 = a + 2 \cdot h_{\phi} \cdot \text{tg} \varphi_0 = 1,5 + 2 \cdot 3 \cdot \text{tg} 18,18 = 3,24$$

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

$$V_{\Phi} = \frac{h_{\Phi}}{6} [(2 \cdot a_1 + a) \cdot a_1 + (2 \cdot a + a_1) \cdot a] = \frac{3}{6} \cdot [(2 \cdot 3,24 + 1,5) \cdot 3,24 + (2 \cdot 1,5 + 3,24) \cdot 1,5] = 16,05 \text{ м}^3.$$

Определим сумму площадей боковых поверхностей грибовидного фундамента подножника марки Ф1-А:

$$\Sigma \omega_{\Phi} = 2h_{\Phi} (a + a_1) = 2 \cdot 3 \cdot (1,5 + 3,24) = 28,44 \text{ м}^2$$

Далее проверяем, выполняется ли условие по несущей способности:

$$\frac{1}{K_H} (N_{\Phi} + 0,9G_{\Phi} \cdot 9,8) = \frac{1}{K_H} (V_{\Phi} \gamma_3 + C_0 \cos \varphi_0 \cdot \Sigma \omega_{\Phi} + 0,9G_{\Phi} \cdot 9,8) = \\ = \frac{1}{1,3} (16,05 \cdot 17 + 4,167 \cdot \cos 18,3^{\circ} \cdot 28,44 + 0,9 \cdot 4,3 \cdot 9,8) = 316,79 \text{ Н} \cdot 10^3$$

$$N_B^p \leq \frac{1}{K_H} (N_{\Phi} + 0,9G_{\Phi} \cdot 9,8)$$

$232,93 < 316,79 \text{ Н} \cdot 10^3$ , следовательно, выбранный фундамент удовлетворяет условию расчета по несущей способности.

### 3.12 Расчёт нагрузок, действующих на переходную опору П110-2/40

Принимаем длину пролета  $l = 350 \text{ м}$ . Тогда стрела провеса провода:

$$f = \frac{\gamma_n \cdot l^2}{8 \cdot \sigma_{сз}} = \frac{0,033 \cdot 350^2}{8 \cdot 84} = 6,01 \text{ м}$$

Высота расположения приведённой нижней траверсы:

$$h_{np} = h_{низ} - \frac{2}{3} f = 40 - \frac{2}{3} 6,01 = 35,99 \text{ м}$$

Находим весовой пролёт линии:

$$l_{вес} = 1,25 \cdot l_{заб} = 1,25 \cdot 350 = 437,5 \text{ м}$$

На промежуточную опору в нормальном режиме работы ВЛ действуют нагрузки:

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88



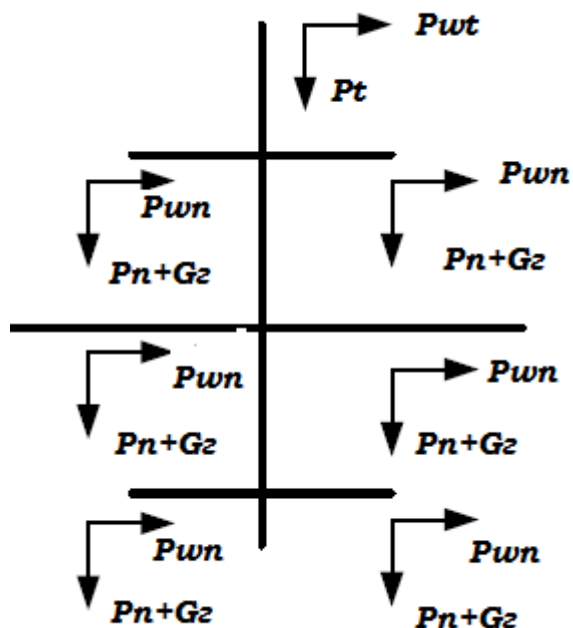


Рисунок 9 – Нагрузки, действующие на промежуточную опору

1. Нагрузка от собственного веса опоры:

$$P_{on} = M_{on} \cdot g \cdot 10^3 = 33,6 \cdot 10^3 \cdot 9,8 = 329280 \text{ Н} \cdot 10^3,$$

где –  $M_{on} = 33600$  кг.

2. Нагрузка от веса гирлянды изоляторов:

$$G_{ГП} = n_{Г} \cdot G_{Г} \cdot g = 7 \cdot 3 \cdot 9,8 = 0,205 \text{ Н} \cdot 10^3,$$

где  $n_{Г}$  – количество гирлянд на опоре, шт.;

$G_{Г}$  – масса каждой гирлянды, кг;

3. Нагрузка от веса проводов на весовой пролет с учетом двух цепей и трехфазной системы:

$$P_{П} = 3 \cdot P_{П} \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 9,026 \cdot 437,5 = 23,693 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

4. Нагрузка от веса троса на весовой пролет:

$$P_T = P_T \cdot l_{вес} = 4,297 \cdot 437,5 = 1,879 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

5. Постоянные нагрузки:

$$P_{пост} = P_{он} + G_{ГП} + P_{П} + P_T = 329,28 + 0,205 + 23,69 + 1,879 = 355,054 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

6. Нагрузка от давления ветра на провода без гололеда (ветер перпендикулярно оси линии) с учетом двух цепей и трехфазной системы:

$$P_{wП} = 3 \cdot P_{wn} \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 5,57 \cdot 437,5 = 14,62 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Нагрузка от давления ветра на трос без гололеда:

$$P_{wT} = P_{wта} \cdot l_{вес} = 0,98 \cdot 437,5 = 0,428 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Нагрузка от веса гололеда на провод с учетом двух цепей и трехфазной системы:

$$P_{ГП} = 3 \cdot P_{гп} \cdot l_{вес} = 2 \cdot 3 \cdot 12,83 \cdot 437,5 = 33,68 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Нагрузка от веса гололеда на трос:

$$P_{ГТ} = P_{гт} \cdot l_{вес} = 3,72 \cdot 437,5 = 1,63 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки:

$$Q_c^H = k_w \cdot W \cdot C_x \cdot A,$$

где  $k_w = 1,25$ ;  $W = 500 \text{ Па}$ ;  $C_x = 1,1$

$A$  – площадь проекции опоры,  $\text{м}^2$ .

Ширина базы опоры у ее основания – 6,8 м.

Высота опоры от основания до нижней траверсы – 40 м.

Высота опоры от нижней траверсы до верхушки тросостойки – 21 м.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

Средняя ширина ствола опоры от траверсы до верхушки тросостойки – 3,8 м.

Площадь поверхности опоры:

$$A = 6,8 \cdot 40 + 21 \cdot 3,8 = 351,8 \text{ м}^2.$$

$$Q_C^H = 1,25 \cdot 500 \cdot 1,1 \cdot 351,8 = 241,86 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Нормативная пульсационная составляющая:

$$Q_n^H = 0,5 \cdot Q_C^H = 0,5 \cdot 241,86 = 120,93 \text{ Н} \cdot 10^3;$$

$$Q = (Q_n^H + Q_C^H) \cdot \gamma_{nw} \cdot \gamma_p \cdot \gamma_f,$$

где  $\gamma_f = 1,3$ ;  $\gamma_{nw} = 1$ ;  $\gamma_p = 1$ ;

$$Q = (120,93 + 241,86) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 471,63 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Итого по кратковременным нормативным нагрузкам:

$$P_{кр} = P_{wII} + P_{ГII} + P_{wT} + P_{ГT} + Q = 14,62 + 33,68 + 0,428 + 1,63 + 471,63 = 521,99 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Нагрузка на промежуточную опору:

$$P_{проп} = P_{пост} + P_{кр} = 355,05 + 521,99 = 877,04 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

### 3.12.1 Расчет грибовидного фундамента – подножника для переходной опоры

Рассчитаем основание грибовидного подножника марки Ф5-2 [1, табл. 1.16], технические данные которого приведены в таблице 12, под промежуточную опору П220-2 в нормальном режиме работы ВЛ. Грунт глинистый с показателем консистенции  $J_L = 0,54$  и коэффициентом пористости  $e = 0,45$  [4].

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

Таблица 22 - Технические характеристики фундамента Ф3-2

Высота фундамента $h$ , м	Глубина заложения $h_{\phi}$ , м	Размер стороны квадрата опорной плиты $a$ , м	Масса фундамента $G_{\phi}$ , т
3,2	4	2,4x2,4	4,46

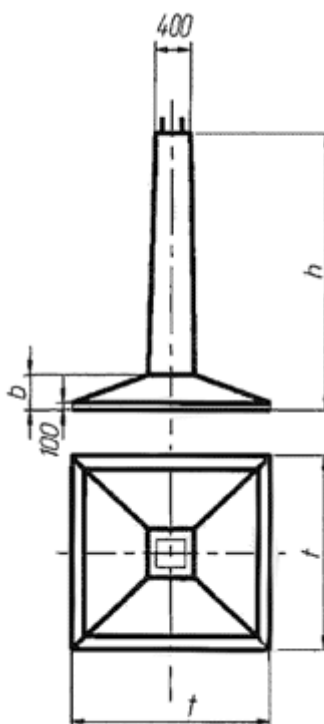


Рисунок 5 – Чертеж фундамента Ф5-2

Сжимающая нагрузка, действующая на грибовидный фундамент, равна сумме постоянных и кратковременных нормальных нагрузок, действующих на опору равна расчетной вырывающей нагрузке:

$$N_{\phi}^p = N_c = 877,04 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

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

$$N_{\phi}^H = 355,05 \text{ Н} \cdot 10^3.$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Для глинистых грунтов с показателем консистенции  $J_L = 0,54$  и коэффициентом пористости  $e = 0,45$ :

- нормативное значение модуля деформации  $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}$ ;

- нормативный угол внутреннего трения  $\varphi_H = 25^\circ$ ;

- нормативное удельное сцепление грунта  $c_H = 12,5 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$ ..

Давление на грунт основания подножника, рассчитывается из условий предельных деформаций основания в нормальном режиме работы линии для значения модуля  $E = 27000 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}$  при размере стороны квадратного подножника  $a = 2,4 \text{ м}$  и глубина заложеного фундамента  $h_\phi = 4 \text{ м}$ .

Давление на грунт основания подножника  $R_S = 361 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$  [5, П.2, табл. 2.14].

Для промежуточной прямой опоры, установленной в глинистый грунт с показателем консистенции с  $J_L = 0,54$  относительным заглублением  $h/a = 3,2/2,4 = 1,33 \text{ м}$ .

Объемным весом грунта обратной засыпки при механическом уплотнении  $\gamma_3 = 17 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{м}^3$  расчетное давление  $R_3 = 60 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2$  [5, П.2, табл. 2.8].

Выбираем коэффициент бокового расширения  $\mu = 0,8$  коэффициент безопасности по грунту для угла внутреннего трения  $k_\Gamma = 1,1$ , а для супеси  $k_\Gamma = 2,4$  [5, П.2, табл. 2.13].

Угол внутреннего трения обратной засыпки:

$$\varphi_0 = \mu \cdot \frac{\varphi_H}{k_\Gamma} = 0,8 \cdot \frac{21}{1,1} = 18,18^\circ.$$

Удельное сцепление грунта обратной засыпки:

$$C_0 = \mu \cdot \frac{C_H}{k_\Gamma} = 0,8 \cdot \frac{12,5}{2,4} = 4,167 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}.$$

Для промежуточной опоры коэффициент надежности  $k_H = 1$  [5, П.2,

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

табл. 2.7].

### 3.12.2 Расчет на сжатие

Среднее давление по подошве фундамента:

$$\sigma_{cp} = \frac{N_c}{F} + \gamma_3 \cdot h_{\phi} = \frac{669}{2,4^2} + 17 \cdot 4 = 184,14 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м};$$

$$\sigma_{cp} \leq R_s \text{ или } 184,14 < 361 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}^2.$$

Условие расчета по деформациям на сжатие соблюдается, и вертикальная осадка фундамента Ф5-2 находится в допустимых пределах.

### 3.12.3 Расчет на вырывание

Вырывающая нагрузка, действующая на фундамент:

$$m \cdot R_3 \cdot F_0 + G_{\phi} \cdot 9,8 = 1,2 \cdot 60 \cdot 2,4^2 + 4,46 \cdot 9,8 = 458,43 \text{ Н} \cdot 10^3,$$

где  $m=1,2$  – коэффициент грунта;

Сравниваем нормативную нагрузку с полученной:

$$N_B^H = 355,05 < 458,43$$

Фундамент марки Ф5-2 удовлетворяет условию расчета по деформациям на вырывание.

### 3.12.4 Расчет по устойчивости (по несущей способности)

Определим объем обелиска грибовидного фундамента–подножника, если,  $a=1,8$  м:

$$a_1 = a + 2 \cdot h_{\phi} \cdot \text{tg} \varphi_0 = 2,4 + 2 \cdot 4 \cdot \text{tg}(18,18^\circ) = 10,4;$$

$$V_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{6} [(2 \cdot a_1 + a) \cdot a_1 + (2 \cdot a + a_1) \cdot a] = \frac{4}{6} \cdot [(2 \cdot 2,4 + 10,4) \cdot 10,4 + (2 \cdot 2,4 + 10,4) \cdot 2,4] = 129,7 \text{ м}^3.$$

Определим сумму площадей боковых поверхностей грибовидного фундамента подножника:

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

$$\Sigma \omega_{\phi} = 2 \cdot h_{\phi} \cdot (a + a_1) = 2 \cdot 4 \cdot (2,4 + 10,4) = 102,4 \text{ м}^2.$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{K_H} \cdot (N_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi} \cdot 9,8) &= \frac{1}{K_H} (V_{\phi} \cdot \gamma_3 + C_0 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \Sigma \omega_{\phi} + 0,9 \cdot G_{\phi} \cdot 9,8) = \\ &= \frac{1}{1} \cdot (129,7 \cdot 17 + 3,125 \cdot \cos(13,6^\circ) \cdot 102,4 + 0,9 \cdot 2,9 \cdot 9,8) = 2394,2 \text{ Н} \cdot 10^3. \end{aligned}$$

$$N_B^P \leq \frac{1}{K_H} (N_{\phi} + 0,9 G_{\phi} \cdot 9,8)$$

$2394,2 < 949,5 \text{ Н} \cdot 10^3$ , следовательно, выбранный фундамент удовлетворяет условию расчета по несущей способности.

Заключение: фундамент Ф5-2 выбран верно.

### 3.13 Расчет монтажной таблицы и построение монтажных графиков

Монтаж происходит в течение значительного периода времени. Требуется учесть вытяжку провода при расчете механического монтажного напряжения, для предотвращения увеличения стрелы провисания провода.

Доля вытяжки происходящей при монтаже оценивается величиной:

$$V = 0,05 \cdot m = 0,05 \cdot 7,8 = 0,39,$$

где  $m = \frac{244}{31,7} = 7,8$  – отношение площадей поперечных сечений провода.

В расчете необходимо использовать значения модулей:

$$F_{cm} = 18,5 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{мм}^2 \text{ – модуль упругости стали.}$$

$$F = F_{cm} \cdot \frac{1 + 0,286 \cdot m}{1 + m} = 18,5 \cdot \frac{1 + 0,286 \cdot 7,8}{1 + 7,8} = 6,792 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м};$$

$$D = F_{cm} \cdot \frac{1 + 0,19 \cdot m}{1 + m} = 18,5 \cdot \frac{1 + 0,19 \cdot 7,8}{1 + 7,8} = 5,217 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м};$$

$$F_M = \frac{F}{1 + \left(\frac{F}{D} - 1\right) \cdot V} = \frac{67,92}{1 + \left(\frac{67,92}{52,178} - 1\right) \cdot 0,39} = 6,077 \text{ Н} \cdot 10^3 / \text{м}.$$

Для исходных условий соответствующих режиму наибольших механических нагрузок, с учетом модулей, уравнение состояния провода примет вид:

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

$$\sigma_M - \frac{\gamma_{\Sigma 1}^2 \cdot F_M \cdot l_{np}^2}{24 \cdot \sigma_M^2} = \sigma_{нб} \cdot \frac{F_M}{D} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot F_M \cdot l_{np}^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} + \alpha_n \cdot F_M \cdot (t_z - t_M).$$

Примем  $t_M = t_{сз}$ ;

$$A = \sigma_{нб} \cdot \frac{F_M}{D} - \frac{\gamma_{нб}^2 \cdot F_M \cdot l_{np}^2}{24 \cdot \sigma_{нб}^2} + \alpha_n \cdot F_M \cdot (t_z - t_M) = 126 \cdot \frac{6,077}{5,217} - \frac{0,089^2 \cdot 6,077 \cdot 10^3 \cdot 214,24^2}{24 \cdot 126^2} + 19,8 \cdot 10^{-6} \cdot 6,077 \cdot 10^3 (-4 - 0,1) = 140,978;$$

$$B = \frac{\gamma_{\Sigma 1}^2 \cdot F_M \cdot l_{np}^2}{24} = \frac{0,089^2 \cdot 214,24^4 \cdot 6,077 \cdot 10^3}{24} = 91,58.$$

если  $A > 0$ , то

$$\sigma_{M0} = 1,02 \sqrt{B^{2/3} + A^2} = 1,02 \sqrt{91,58^{2/3} + 140,978^2} = 143,871 \text{ Н / мм}^2;$$

$$\sigma_{M+1} = \frac{\sigma_{M0}^2 (2 \cdot \sigma_{M0} - A) + B}{\sigma_{M0} \cdot (3 \sigma_{M0} - 2A)}.$$



#### 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

##### 4.1 Планирование работ по проектированию ВЛ 110 кВ Вертикос – Мыльджино, реконструкции ПС 220 кВ Вертикос и определение трудоемкости.

Для расчета основной заработной платы сотрудников составляем график выполнения работ таблица 12.

Для определения трудоемкости выполнения проекта сначала составим перечень основных этапов и видов работ, которые должны быть выполнены.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{ож.}$  применим вариант, основанный на использовании трех оценок:  $t_{max}$ ,  $t_{min}$ ,  $t_{н.в.}$

$$t_{ож.} = \frac{t_{min} + 4 \cdot t_{н.в.} + t_{max}}{6}$$

где  $t_{min}$  – кратчайшая продолжительность данной работы (оптимистическая оценка);

$t_{н.в.}$  – наиболее возможная, по мнению экспертов продолжительность работы (реалистическая оценка);

$t_{max}$  – самая длительная продолжительность работы.

Таблица 23 – Описание графика выполнения работ

Сотрудник	Количество дней	Обозначение на графике
Руководитель	90	
Инженер	90	

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.		Сухинин В.В.			Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Руковод.		Панкратов А.В.					97	1
Реценз.						Организация		
Н. Контр.								
Утверд.		Прохоров А.В.						



## 4.2 Расчет затрат на проектирование

Затраты, образующие себестоимость продукции группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

1. материальные затраты;
2. оплата труда;
3. отчисления в социальный фонд;
4. амортизация основных фондов;
5. прочие затраты;
6. накладные расходы.

1. Материальные затраты включают в себя:

расходные материалы (бумага, картриджи для принтера, плоттера, ручки, изготовление слайдов), сведенные в приведенную ниже таблицу 13.

Таблица 24- Материальные затраты

Материал	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.
Печатная бумага	Пачка	2	300
Катридж	Шт.	1	900
Диск CD-RW	Шт.	2	80
Канц. товары	Шт.	6	110
ИТОГО			$I_M = 1390$

2. Расчет заработной платы.

$T_M$  - число дней работы.

$$ЗП_{\text{рук}} = ((32000 \cdot 1,16 \cdot 1,3) / 21) \cdot 90 = 206811,42 \text{ руб.}, \quad (113)$$

где 32000- оклад

1,16- коэффициент за неиспользованный отпуск

1,3- районный коэффициент

$$ЗП_{\text{инженер}} = ((18000 \cdot 1,08 \cdot 1,3) / 21) \cdot 90 = 116331,42 \text{ руб.}, \quad (114)$$

Сводим расчеты в таблицу 14.

Таблица 25-Заработная плата исполнителей

Исполнители	Группа	Оклад р.	Время занятости дней	Зп,руб.
Руководитель	3	32000	90	206811,42
Инженер	2	18000	90	116331,42
Итого				323142,84

$$\text{Фонд заработной платы } \Phi ЗП = \sum \text{ЗП}_{\text{исп}}, \quad (113)$$

$$\Phi ЗП = 323142,84 \text{ р.}$$

3. Размер отчислений в социальный фонд составляет 30% от ФЗП.

Сумма начислений в социальный фонд составляет:

$$И_{\text{сн}} = 323142,84 \cdot 0,3 = 96942,85 \text{ руб.} \quad (114)$$

4. Амортизационные отчисления.

Специальное оборудование учитывается в сметной стоимости в виде амортизационных отчислений по формуле:

$$И_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{и}}}{T_{\text{кал}}} \cdot N_{\text{а}} \cdot \Phi_{\text{п}} \quad (115)$$

где  $\Phi_{\text{п}}$  - первоначальная стоимость оборудования;

$N_{\text{а}}$  - норма амортизации;

$T_{\text{и}}$  - количество дней использования оборудования;

$T_{\text{кал}}$  - количество календарных дней в году.

Срок

Таблица 26- Амортизационные отчисления

Наименование	Количество	$\Phi_{\text{п}}$ , р	$N_{\text{а}}$ , %	Срок службы (лет)	$T_{\text{и}}$ дней	$I_{\text{ам}}$ , р
Компьютер	2Шт.	60000	0,2	5	90	2958
Принтер	1Шт.	8000	0,2	3	23	100

Кресло	2 Шт.	10000	0,1	5	45	123
Стул	2 Шт.	4000	0,1	5	45	49
Итого						3230

Амортизационные отчисления составляют  $I_{ам} = 3230$  рубля.

5. Прочие расходы :

$$I_{пр} = 0,1(I_{зп} + I_{м} + I_{ам} + I_{сн}) \quad (116)$$

$$I_{пр} = 0,1(323142,84 + 3230 + 1375 + 96942,85) = 42347,87 \text{ руб.}$$

6. Накладные расходы принимаем 200% от ФЗП:

$$I_{нр} = 2 \cdot \text{ФЗП} \quad (117)$$

$$I_{нр} = 2 \cdot 323142,84 = 646285,68 \text{ р.}$$

Себестоимость проекта:

$$C_{п} = I_{м} + I_{зп} + I_{сн} + I_{ам} + I_{пр} + I_{нр} \quad (118)$$

$$I_{п} = 1390 + 323142,84 + 96942,85 + 2018 + 42347,87 + 646285,68 \\ = 1112127,24 \text{ р.}$$

Принимаем рентабельность 20%, прибыль:

$$П_б = C_{п} \cdot 0,2 \quad (119)$$

$$П_б = 1112127,24 \cdot 0,2 = 222425,45 \text{ р.}$$

Стоимость проекта:

$$Ц_{п} = C_{п} + П_б \quad (120)$$

$$Ц_{п} = 821299,24 + 222425,45 = 1043724,7 \text{ руб}$$

Смета затрат представлена в таблице 16.

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	Лист
						101
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 27 -Смета затрат

Вид расходов	Обозначение	Сумма, р.
Материальные затраты	$I_m$	1390
Заработная плата	$I_{зп}$	32314,84
Амортизация	$I_{ам}$	3230
Отчисления на социальные нужды	$I_{сн}$	96942,85
Прочие расходы	$I_{пр}$	42347,87
Накладные расходы	$I_{нр}$	646285,68
Себестоимость проекта	$I_{п}$	1112127,24
Прибыль	$П_б$	222425,45
Стоимость проекта	$Ц_п$	1043724,7

#### 4.3 Расчет приведенных затрат по вариантам с одинаковой надежностью

Экономическим критерием, по которому определяют наивыгоднейший вариант, является минимум приведенных затрат, руб/год, вычисленных по формуле

$$Z = p_H \cdot K + I \quad (5.1)$$

где  $p_H$  – норма дисконта, 1/год (для расчетов установок энергетики  $p_H = 0,15$ );

$K$  – единовременные капитальные вложения, руб.;

$I$  – ежегодные эксплуатационные затраты, руб.

#### Расчёт капиталовложений на оборудование и строительномонтажные работы.

Целью является расчет экономической эффективности капитальных вложений на проект строительства ВЛ 110 кВ Вертикос – Мыльджино и реконструкцию ПС 220 кВ Вертикос.

Капитальные вложения  $K$  включают затраты на основные фонды и оборотные средства. Так как оборотные средства невелики (1 – 2%), то ими можно пренебречь.

Основные фонды включают стоимость оборудования, затраты на установку, монтаж, наладку и пробный пуск оборудования и аппаратуры, затраты на транспортировку.

При расчете затрат на оборудование, строительно-монтажные работы и т.д. учитывались существующие цены на март 2016 года. Результаты расчета сводим в таблицу 17.

Таблица 28-Расчет капиталовложений на оборудование

№ варианта	Наименования оборудования	Количество, шт. или м.	Цена за 1 ед. с НДС	Производитель, поставщик	Сумма
1	Промежуточная опора П 110-4в	264	239 325,00	ООО «Электропоставка» г.Пермь	63181800,0 0
1	Опора анкерная У-110- 4	10	394 875,00	ООО «Электропоставка» г.Пермь	394 8750,00
1	Опора переходная ПП110-2/40	2	2937 600,00	ООО «Электропоставка» г.Пермь	5875200
1	Изолятор стеклянный подвесной ПСВ-40В	13482	273,00	Южноуральская изоляторная компания	3680583
1	Выключатель вэкс-110-40/2000у1	3	120000,0 0	ЗАО «Завод электротехнического	3600000





				оборудования» г. Великие Луки	
2	Серьга СРС	1926	43,65	Южноуральская изоляторная компания	84069,9
2	Узел крепления гирлянды КГП	1926	40,21	Южноуральская изоляторная компания	77444,46
2	Разъединитель 3х полюсной	10	25000	ГК "Электроцит" г. Самара	250000
2	Провод АС240/32	610 км	278	ЗАО "Сибкабель", г. Томск	169580
2	Итого				86037657, 36

#### 4.4. Расчет производственных капиталовложений.

Целью является расчет капитальных вложений на проект реконструкции подстанции «Вертикос» 220/110/10 кВ, строительство ВЛ 110 кВ Вертикос – Мыльджино. Реконструкция и строительство позволит повысить надежность электроснабжения потребителей.

Капитальные вложения  $K$  включают затраты на основные фонды и оборотные средства. Так как оборотные средства в системе электроснабжения невелики (1 – 2%), то ими можно пренебречь.

Основные фонды включают стоимость оборудования, затраты на установку, монтаж, наладку и пробный пуск оборудования и аппаратуры, затраты на транспортировку.

При расчете затрат на оборудование, строительно-монтажные работы и т.д. учитывались существующие цены на март 2016 года. При реконструкции подстанции предусматривается монтаж элегазовых выключателей.

1)Общую стоимость материалов и оборудования примем исходя из смет:

1Вариант

$$K_{\text{мат}}=80642427,36 \text{ рублей}$$

2Вариант

$$K_{\text{мат}}=86037657,36 \text{ рублей}$$

2)Затраты на строительно-монтажные работы примем из соотношения

$$100/30, \text{ т.е. } 30\%:$$

1Вариант

$$K_{\text{раб}}=0,3*80642427,36 =24192728,2 \text{ рублей}$$

2Вариант

$$K_{\text{раб}}=0,3*K_{\text{мат}}=0,3*86037657,36=25811297,2 \text{ рубля}$$

3)Капитальные затраты составляют:

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

1 Вариант

$$K_{\text{кап}} = K_{\text{маг}} + K_{\text{раб}} + K_{\text{пр}} = 80642427,36 + 24192728,2 + 1043724,7 = 105878880$$

рублей

2 Вариант

$$K_{\text{кап}} = K_{\text{маг}} + K_{\text{раб}} + K_{\text{пр}} = 86037657,36 + 25811297,2 + 1043724,7 = 112892679 \text{ рублей}$$

#### 4.5 Расчет эксплуатационных затрат по вариантам

Эксплуатационные затраты определяются из следующей формулы:

$$I = I_{\text{ам}} + I_{\text{обсл}} + I_{\text{пот}}$$

где  $I_{\text{ам}}$  - ежегодные амортизационные отчисления, руб.;

$I_{\text{обсл}}$  - годовые расходы на обслуживание и текущий ремонт

электрооборудования, руб.;

$I_{\text{пот}}$  - стоимость годовых потерь электроэнергии, руб.

Амортизационные отчисления – это собственный источник финансирования обновления основных производственных фондов, величина которого зависит от двух факторов: стоимости имеющихся основных производственных фондов и норм амортизационных отчислений [14].

Ежегодные амортизационные отчисления:

$$I_{\text{ам}} = P_a \cdot K,$$

где  $P_a$  - норма амортизационных отчислений, % (для оборудования

ПС  $P_a = 6,4\%$ );

1 Вариант

$$I_{\text{ам}} = 0,064 \cdot 104835155,56 = 6709450 \text{ руб.}$$

2 Вариант

$$I_{\text{ам}} = 0,064 \cdot 111848954,56 = 7158333 \text{ руб.}$$

Годовые расходы на обслуживание и текущий ремонт электрооборудования

$C_{\text{ро}}$  включают в себя зарплату ремонтного и обслуживающего персонала и

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107

затраты на материалы необходимые для ремонта и обслуживания электрооборудования [14]:

$$I_{обсл} = P_{обсл} \cdot K \quad (5.6)$$

где  $P_{обсл}$  – норма затрат на обслуживание, % (для силового электрооборудования  $P_{ам} = 2\%$ ).

1 Вариант

$$I_{обсл.} = 0,02 \cdot 104835155,56 = 2096703 \text{ рубля}$$

2 Вариант

$$I_{обсл.} = 0,02 \cdot 111848954,56 = 2236979 \text{ руб}$$

Стоимость годовых потерь активной электроэнергии для первого и второго варианта:

$$I_{пот} = \Delta P_T \cdot T_T \cdot \tau \quad (5.9)$$

1) Вариант

$$I_{пот} = 24 \cdot 8760 \cdot 2,05 = 430992 \text{ руб./год.}$$

2) Вариант

$$I_{пот} = 27 \cdot 8760 \cdot 2,05 = 484866 \text{ руб./год.}$$

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

$T_T$  – годовое время включения электроустановки  $T_T = 8760$  ч/год.

$\tau = 2,05$  руб. – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Вариант 1.

$$I = I_{ам} + I_{обсл} + I_{пот} = 6709450 + 2096703 + 430992 = 9237145 \text{ руб.}$$

Вариант 2.

$$I = I_{ам} + I_{обсл} + I_{пот} = 7158333 + 2236979 + 484866 = 9880178 \text{ руб.}$$

Затраты:

Вариант 1.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

$$Z_{np} = E_n * K + I = 0,15 * 105878880 + 9237145 = 25118977 \text{ руб.}$$

Вариант 2.

$$Z_{np} = E_n * K + I = 0,15 * 112892679 + 9880178 = 26814079 \text{ руб.}$$

Таблица 29 – Приведенные затраты, руб

№	$Z_{np} = p_n * K + I$	$p_n$	К	$I = I_{ам} + I_{обсл} + I_{пот}$		
				$I_{ам}$	$I_{обсл}$	$I_{пот}$
1	25118977	0,15	105878880	6709450	2096703	9237145
2	26814079	0,15	112892679	7158333	2236979	9880178

В результате произведенных расчетов оптимальным по экономическим показателям является вариант 1, характеризующийся минимальными приведенными затратами .

## 5.. Социальная ответственность.

Социальная ответственность представляет собой систему законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда. В нашей стране государство направляет средства на проведение мероприятий по охране здоровья трудящихся и в частности на обеспечение техники безопасности и производственной санитарии. Мероприятия, связанные с созданием безопасных условий труда осуществляются в плановом порядке.

В данном разделе дипломной работы рассмотрены следующие вопросы социальной ответственности: проанализированы условия труда с точки зрения наличия возможности появления опасных, вредных факторов и их воздействие на работающих, рассмотрены мероприятия производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте инженера – проектировщика.

В помещении, где работает инженер – проектировщик находится следующее оборудование: компьютеры, принтеры, плоттеры, множительная техника, оборудование для кондиционирования воздуха, светильники, вентиляторы систем охлаждения, электрочайник.

Работа инженера – проектировщика в основном сидячая, монотонная, и основная нагрузка ложиться на глаза.

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>Социальная ответственность</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разраб.		Сухинин В.В.					110	1
Руковод.		Панкратов А.В.						
Консульт.		Амелькович Ю.А						
Утверд.		Прохоров А.В.						
						ТПУ ИДО ЭНИН гр. 3–9201		

## 5.1 Производственная безопасность.

### Анализ выявленных вредных факторов.

Реальное состояние условий труда и безопасности в помещении проектного отдела удовлетворяет современным требованиям. Инженеры – проектировщики в процессе работы сталкиваются с воздействием таких физических факторов:

- вредные факторы – шум, повышенная или пониженная температура воздуха, повышенная или пониженная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения, статическое электричество, недостаточная освещенность, ЭМИ (ПК).

Основными источниками шума в помещениях, оборудованных вычислительной техникой, являются принтеры, плоттеры, множительная техника и оборудование для кондиционирования воздуха, вентиляторы систем охлаждения, трансформаторы.

#### Защита от электромагнитных полей

Нормирование электромагнитных полей (ЭМП) промышленной частоты осуществляют по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного полей частотой 50 Гц в зависимости от времени пребывания в нем и регламентируется СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона».

Основные параметры ЭМП:

- частота  $f$ , Гц;
- напряженность электрического поля  $E$ , В/м;
- напряженность магнитного поля  $H$ , А/м;
- плотность потока энергии  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Электромагнитные поля характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человека. Основным источником этих проблем, связанных с охраной здоровья людей, использующих в своей работе автоматизированные информационные системы

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		111

на основе персональных компьютеров, являются дисплеи (мониторы), особенно дисплеи с электронно-лучевыми трубками. Они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье программиста.

ПЭВМ являются источниками следующих излучений: мягкого рентгеновского, ультрафиолетового, видимого, ближнего инфракрасного, радиочастотного и электростатических полей.

Ультрафиолетовое излучение полезно в небольших количествах, но в больших дозах приводит к дерматиту кожи, головной боли, рези в глазах. Инфракрасное излучение приводит к перегреву тканей человека (особенно хрусталика глаза), повышению температуры тела. При повышенном уровне напряженности полей следует сократить время работы за компьютером, делать пятнадцатиминутные перерывы в течении полутора часов работы и, конечно же, применять защитные экраны.

Может возникнуть опасность по уровням напряженности электромагнитного поля. На расстоянии 5-10 см от экрана и корпуса монитора уровни напряженности могут достигать 140В/м по электрической составляющей, что значительно превышает допустимые значения СанПиН 2.2.2. 542-96. Предельно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ указаны в табл. 30.

Таблица 30 - Предельно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМИ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5Гц–2кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2кГц-400кГц	2,5 В/м



Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5Гц-2кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2кГц-400кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500В

Для предупреждения внедрения опасной техники все дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности (например международные стандарты MRP 2, TCO 99).

### **Микроклимат**

Под метеорологическими условиями, согласно СанПиН 2.2.4.48 – 96, понимают сочетание температуры, относительной влажности, скорости движения и интенсивности теплового излучения. Эти параметры оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье, и на надёжность работы средств компьютерной техники. Особенно большое влияние на микроклимат оказывают источники теплоты, находящиеся в помещении проектного отдела: ПК, принтер и вспомогательное оборудование, приборы освещения, проектировщики. Кроме того, на суммарное тепловыделение помещений оказывают влияние внешние источники теплоты. К ним относят теплоту, поступающую через окна от солнечной радиации.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в проектном отделе, согласно СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03, представлены в табл.31.

Таблица 31 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения.

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения	
		Диапазон ниже, выше оптимальных величин $t_{опт}$				Если $t^o < t^o_{опт}$	Если $t^o > t^o_{опт}$
		Ниже	Выше				
Холод	Ia	20,0–21,9	24,1–	19,0–26,0	15–75	0,1	0,1
Теплы	Ia	21,0–	25,1–	20,0–29,0	15–75	0,1	0,2

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьми часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Период года	Параметры воздушной оптимальной среды на постоянных рабочих местах		
	Температура °С	Относительная влажность %	Скорость движения не более, м/с
Холодные	22-24	40-60	до 0,1

й и переходный			
Теплый	23-25	40-60	0,1-0,2

Таблица 32 – Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в проектом отделе.

Для создания и автоматического поддержания в проектом отделе независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

#### **Нормирование теплового излучения.**

Интенсивность теплового облучения человека регламентируется, исходя из субъективного ощущения человеком энергии облучения. Человек может неопределенно долго выдерживать излучение интенсивностью до  $350 \text{ Вт/м}^2$ . Эта величина считается верхним пределом оптимального облучения. При более высоких значениях должно осуществляться воздушное душирование рабочих мест.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, $\text{Вт/м}^2$ , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

## **Анализ выявленных опасных факторов.**

- опасным производственным фактором (ОПФ), называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Травма – это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием. Травма является результатом несчастного случая на производстве, под которым понимают случай воздействия опасного производственного фактора на работающего при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

Многие сотрудники связаны с воздействием психофизиологических факторов. Как умственное перенапряжение зрительных и слуховых анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.

Воздействие указанных неблагоприятных факторов приводит к снижению работоспособности, вызываемое развивающимися утомлениями. Появление и развитие утомления связано с изменениями, возникающими в процессе работы в центральной нервной системе, с тормозными процессами в коре головного мозга. Длительное нахождение человека в зоне комбинированного воздействия различных неблагоприятных факторов может привести к профессиональному заболеванию.

### **Шум**

В помещениях с низким уровнем общего шума, каким является проектный отдел где работает инженер - проектировщик, источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры или периферийное оборудование для ЭВМ (плоттеры, принтеры и др). Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказываются на эмоциональном состоянии персонала.

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		116

Согласно СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03 эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА. Для того, чтобы добиться этого уровня шума рекомендуется применять звукопоглощающее покрытие стен.

Защиту от шума следует выполнять в соответствии с ГОСТ 12.2.016.5-91, а звукоизоляция ограждающих конструкций должна отвечать требованиям главы СНиП 11-12-77 «Защита от шума. Нормы проектирования».

### **Освещение**

Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники, имеет следующие недостатки:

- вероятность появления прямой блескости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном;
- отражение экрана.

В связи с тем, что естественное освещение слабое, на рабочем месте должно применяться также искусственное освещение.

Согласно СанПиН 2.2.1./2.1.1.1278-03 для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещённость рабочих мест, а для естественного и совмещенного - коэффициент естественной освещённости. Рекомендуемая освещённость для работы с экраном дисплея составляет 300 лк, а при работе с экраном в сочетании с работой над документами - 500 лк.

Для качественной оценки степени неравномерности излучения светового потока в пространстве используют понятие – силы света –  $J$ .

$$J = \Phi / w, \quad (4.1)$$

где  $\Phi$  - световой поток,  $w$  - телесный угол

Освещённость  $E$  является величиной, которая характеризует поверхностную плотность падающего светового потока

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		117

$$E = \Phi / S, \quad (4.2)$$

где  $S$  - площадь освещаемой поверхности.

Яркость  $L$  - световая величина, непосредственно воспринимаемая глазом.

$$L = J / \cos \alpha * S. \quad (4.3)$$

Естественное освещение внутри помещений оценивают коэффициентом естественной освещённости КЕО ( % ), который определяется

$$КЕО = (E_{вн} / E_{нар}) * 100\%. \quad (4.4)$$

Расчётное уравнение светового потока:

$$\Phi = E_n * K_3 * S * Z / N * K_{И} * K_{затен}, \quad (4.5)$$

где  $E_n$  - нормируемая минимальная освещённость;

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий запыление светильников и износ источников света в процессе эксплуатации;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения;

$N$  – число светильников, определяемое из условия создания равномерного освещения помещения;

$K_{И}$  – коэффициент использования излучаемого светильниками светового потока, который показывает, какая часть от общего светового потока приходится на расчётную площадь;

$K_{затен}$  – коэффициент затенения.

Для люминесцентных ламп  $K_3 = 1,3 \dots 1,5$ .

$Z = 1,1 \dots 1,2$  - для оптимального расположения светильников.

Далее произведём расчёт искусственного освещения.

Для освещения помещения проектного отдела с размерами 15м\*6м, высотой 3,2 м со светильниками типа ЛДР (2x40 Вт, длина 1,24 м, ширина 0,27м, высота 0,10 м.) и двумя люминесцентными лампами типа ЛБ – 40.

Примем коэффициенты светового отражения потока от потолка, стен и пола:

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	Лист
						118
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$Q_{\text{п}}=70\%$ ,  $Q_{\text{с}}=50\%$ ,  $Q_{\text{пола}}=10\%$ . Затенением пренебрегаем. Определим необходимое число светильников для общего равномерного освещения. Уровень рабочей поверхности над полом составляет – 0,7м.

$$h = H - 0,7 = 3,2 - 0,7 = 2,5\text{м.} \quad (4.6)$$

Для светильников ЛДР (2x40 Вт) наивыгоднейшее отношение -  $E=L/h=1,4$ , отсюда  $L=E*h=1,4*2,5=3,5\text{м}$ .

L - расстояние между рядами светильников.

Светильники расположены вдоль длинной стороны помещения. Расстояние между стенами и крайними рядами светильников принимаем равным

$$l=(0,3\dots0,5)*L=(0,95\dots1,75)\text{ м.} \quad (4.7)$$

При ширине зала 6 м имеем число рядов светильников:  $n=6/L=2$  ряда. Для залов оборудованных рабочими местами с компьютерами  $E_{\text{н}}=300\text{лк}$ .

$I=(A*B)/(h*(A+B))$  – индекс помещения.

$$I=15*6/(2,5*(15+6))=1,71 \quad (4.8)$$

С учётом  $Q_{\text{пб}}$ ,  $Q_{\text{с}}$ ,  $Q_{\text{пола}}$  – из справочника находим  $K_{\text{затен}}=0,45$ . Световой поток лампы ЛБ – 40  $\Phi_{\text{л}}=2480$  лм. Поток излучаемый светильником  $\Phi_{\text{св}}=2*2480=4960$  лм. Число светильников в ряду:

$$N=E_{\text{н}}*K_{\text{з}}*S*Z/n*\Phi_{\text{св}}*K_{\text{затен}}*K_{\text{и}}=(300*1,3*90*1,1)/(2*4960*0,45)=9 \quad (4.9)$$

шт.

При длине светильника  $L_{\text{св}}=1,24\text{м}$ , их общая длина составляет:

$$L_{\text{общ}}=N \times L=9 \times 1,24=11,16 \approx 12\text{ м} \quad (4.10)$$

Расстояние между светильниками:

$$L=(A-L_{\text{общ}})/(N+1)=(15-12)/(9+1)=0,03\text{ м.} \quad (4.10)$$

Таким образом, в помещении проектного отдела необходимо установить восемнадцать светильников в два ряда.

Схема размещения светильников представлена на рис. 10.

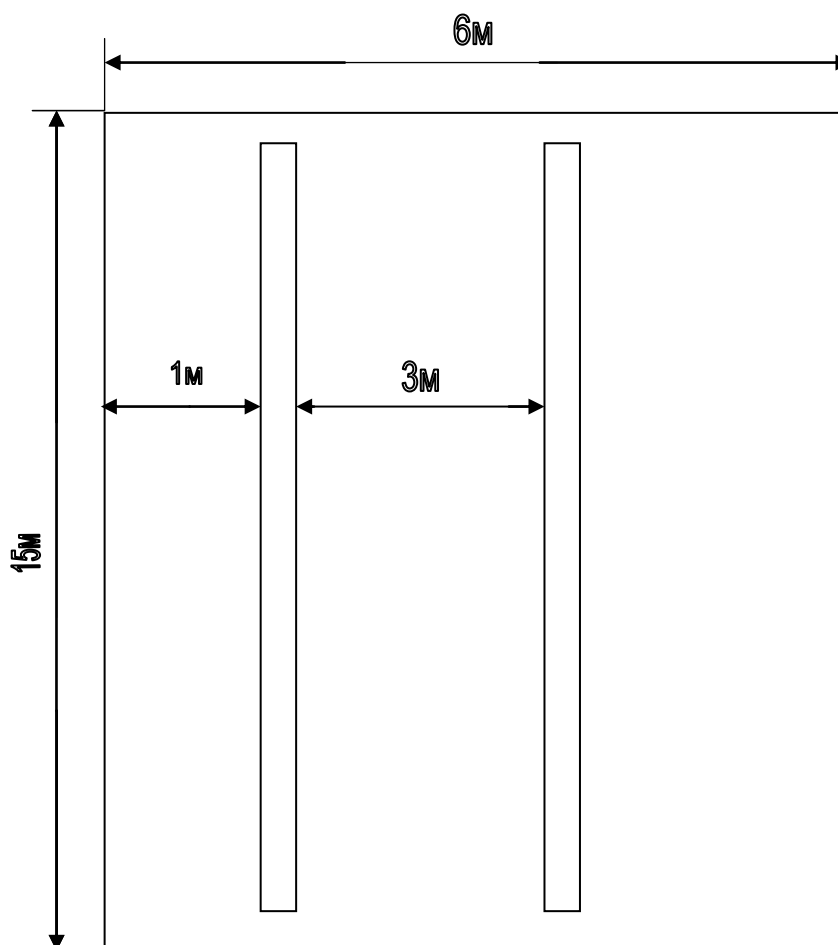


Рисунок 10 - Схема размещения светильников.

#### **Действие опасного фактора на организм человека.**

- опасность поражения людей электрическим током – помещение проектного отдела является помещением без повышенной опасности, так как это сухое, без пыльное помещение с нормальной температурой воздуха.

Но, тем не менее, электрические установки, к которым относится всё оборудование ПК, представляет для человека потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или проведения профилактических работ человек может коснуться частей или деталей, находящихся под напряжением в результате повреждения изоляции. Исключительно важное значение, для

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		120



предотвращения электротравматизма, имеет правильная организация обслуживания действующих электроустановок, проведение ремонтных и профилактических работ.

Электрооборудование в проектном отделе в основном относится к установкам напряжением до 1000В. Исключение составляют дисплеи, электронно-лучевые трубки которых имеют напряжение несколько кВ.

#### **Предлагаемые средства защиты.**

Применение только одних организационных и технических мероприятий по предупреждению воздействия на человека опасного фактора, не может в полной мере обеспечить необходимую безопасность. Можно использовать

технические средства защиты согласно ПОТ РМ-016-2001 РД 153-34.0-03.150-00. К которым относят: электрическую изоляцию токоведущих частей, защитное заземление, выравнивание потенциалов, защитное отключение, электрическое разделение сети, малое напряжение, двойную изоляцию. Использование этих средств, в различном сочетании, позволяет обеспечить защиту людей от прикосновения к токоведущим частям, от опасности перехода напряжения на металлические нетоковедущие части. В соответствии с ПУЭ защитное заземление применяют во всех электроустановках переменного напряжения до и выше 1000 В.

Все организации работ на ПК проходят согласно СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03.

#### **Механические опасности.**

Источником механических травм могут быть: разрушающиеся конструкции, острые кромки, падение на мокром полу, а также падение предметов с высоты.

Меры по уменьшению воздействия:

- идентифицировать опасности и оценить риск;
- устранить источники опасности или ограничить, насколько возможно, риск;

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		121

- применить защитные ограждения и/или предохранительные устройства в зависимости от остаточного риска;

- учитывать любые необходимые дополнительные меры предосторожности.

### **Производственная вентиляция**

Нормы производственной вентиляции установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.4.021 – 88.

На рабочем месте предусматривается искусственная приточно-вытяжная общеобменная вентиляция с расходом воздуха на одного работающего не менее  $60 \text{ м}^3 / \text{час}$ .

Воздух, поступающий в рабочие помещения инженеров – проектировщиков, должен быть очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов. Патогенной микрофлоры быть не должно.

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже  $19^\circ\text{C}$ .

### **Отопление**

Целью отопления помещения является поддержание в них в холодное время года заданной температуры воздуха, а также обеспечить безопасность в отношении пожаров и взрывов. В зависимости от теплоносителя системы отопления бывают водяные, паровые, воздушные и комбинированные.

В санитарно-гигиеническом отношении система водяного отопления наиболее эффективна. Кроме того, она требует минимальных затрат на обслуживание и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		122

## 5.2 Экологическая безопасность.

Чтобы обеспечить своё существование, человечество должно иметь пищу, воду, одежду и т.д. Всё это с неизбежностью предполагает образование различного рода отходов, которые поступают в окружающую среду. Во избежание ненужного, а порой непоправимого ущерба, наносимого природной среде, такое воздействие на неё должно тщательно планироваться. Деятельность человека причиняет ущерб окружающей среде, а потому перед обществом стоит задача сделать это воздействие наименее пагубным. В процессе трудовой деятельности, так же как и в обычной жизнедеятельности, человек является источником твёрдых бытовых отходов. Эти отходы, как пищевые, так и промышленные, сильно загрязняют окружающую среду. Как правило, в качестве промышленных отходов выступают: бумага, строительные отходы, коробки и т.п. Этот мусор с другими отходами вывозится на территории, выделенные под складирование бытовых отходов. Сжигание этих отходов уменьшает их объём на 90%, но в результате сжигания происходит выделение вредных газов и дымов, что загрязняет атмосферу. Если сточные воды, подлежащие сбросу в канализационную сеть населенных пунктов, содержат вредные вещества в концентрациях, превышающих установленные нормы, то их следует подвергать предварительной очистке.

## 5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

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

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		123

Чрезвычайные ситуации можно классифицировать по типам и видам событий, лежащих в основе этих ситуаций, по масштабу распространения, по сложности обстановки, тяжести последствий.

В настоящее время существуют два основных направления минимизации вероятности возникновения и последствий ЧС на административных объектах - это разработка инженерно-технических и организационных мероприятий. К инженерно-техническим мероприятиям относятся: строительство защитных сооружений, создание санитарно-защитных зон вокруг потенциально опасных объектов, инженерное оборудование территории региона с учётом характера воздействия прогнозируемых ЧС. К организационным мероприятиям относятся: эвакуация работающих (план), подготовка работающих к действиям при ЧС, подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС. Основные причины возникновения ЧС в проектно-отделе:

1. Внутренние: сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно - конструкторские недоработки, физический износ или неисправность оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина;

2. Внешние: стихийные бедствия, терроризм.

Наиболее вероятные ЧС для проектно-отдела – это пожар, удар молнии в здание, ураган и терроризм. Чтобы повысить устойчивость проектно-отдела к перечисленным выше вероятным ЧС необходимо: производить инструктаж по технике безопасности при эксплуатации оборудования, противопожарный инструктаж, периодически проверять исправность оборудования, повышать прочность конструкций, устанавливать автоматические стационарные системы тушения пожаров, резервировать электро- и водоснабжение, также проводить инструктаж как действовать при различных видах ЧС.

### **Пожарная безопасность**

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		124

Одним из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС является пожар. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров согласно ППБ 01-03. К организационным мерам относятся мероприятие режимного характера, обучение и разработка планов эвакуации людей в случае пожара. К техническим мерам относятся современные автоматические средства сигнализации, методы и устройства ограничения распространения огня, автоматические стационарные системы тушения пожаров, первичные средства пожаротушения.

Источником пожаров в проектом отделе может быть:

- открытый огонь;
- электрический ток;
- удар молнии;
- неисправность оборудования.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии с табл.4.

Определение категорий помещений следует осуществлять путем последовательной проверки принадлежности помещения к категориям, приведенным в табл.34, от высшей (А) к низшей (Д).

Таблица 34

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А взрывопожароопасная	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с

	<p>температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.</p> <p>Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа</p>
<p>Б взрывопожароопасная</p>	<p>Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа</p>
<p>В1-В4 пожароопасные</p>	<p>Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы</p>

	(в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Определение категорий помещений по ПБ регламентируется нормами пожарной безопасности НПБ 105-03. Эти нормы устанавливают способы определения помещений, зданий, сооружений различного назначения по критериям взрывопожарной и пожарной опасности. Основным критерием, учитываемым при определении категории, является наличие и количество пожаровзрывоопасных веществ и материалов.

Здание, в котором находится проектный отдел по пожарной опасности строительных конструкций согласно техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности относится к категории В4 (малопожароопасное), поскольку здесь присутствуют горючие (книги, документы, мебель,

оргтехника и т.д.) и трудносгораемые вещества (сейфы, различное оборудование и т.д.), которые при взаимодействии с огнем могут гореть без взрыва. Следовательно, степень огнестойкости здания можно определить как третью (III). Помещение проектного отдела согласно ПУЭ по функциональной пожарной опасности относится к классу Ф 4.2 – высшие учебные заведения, учреждения повышения квалификации.

### Эвакуация при пожаре

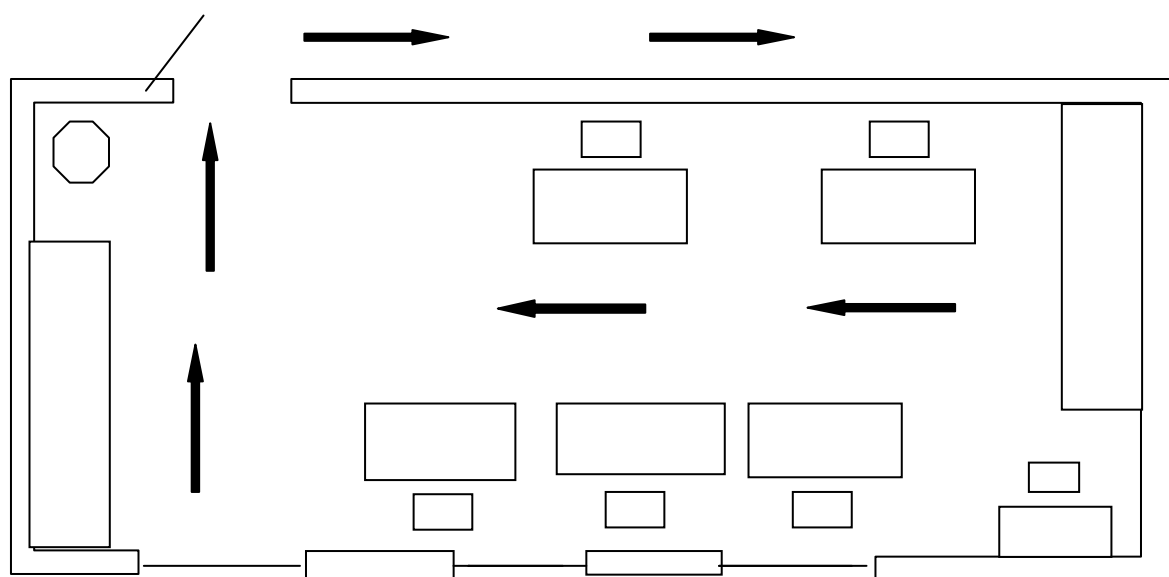


Рисунок 11 - План эвакуации

Процесс вынужденной эвакуации начинается одновременно из всех помещений и протекает в одном направлении – в сторону выхода. Наиболее распространёнными путями эвакуации являются проходы, коридоры, фойе, лестницы.

Основными средствами тушения пожара в нутрии помещения являются огнетушители типа ОУ и ОП (углекислотные и порошковые соответственно).

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ** в административных помещениях :

- допускать к работе лиц, не прошедших противопожарный инструктаж;



- устанавливать на путях эвакуации производственное оборудование, мебель, шкафы, сейфы, и др. предметы;
- оставлять в помещении после окончания работы, включенные в электросеть нагревательные приборы телевизоры, радиоприёмники и др.;
- применять бытовые электронагревательные приборы (электрочайники, кипятильники, утюги, плитки и др.) в местах, не отведённых для этих целей;
- пользоваться электропроводкой с повреждённой изоляцией, а также неисправными электроустановочными изделиями (розетками, выключателями);
- обёртывать светильники бумагой, тканью и другими горючими материалами, а также эксплуатировать их со снятыми колпаками (рассеивателями)

Для обеспечения пожарной безопасности помещения, согласно техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, устанавливаем углекислотный огнетушитель типа ОУ-2, кроме того, в коридоре устанавливается пожарный кран.

#### **5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса.

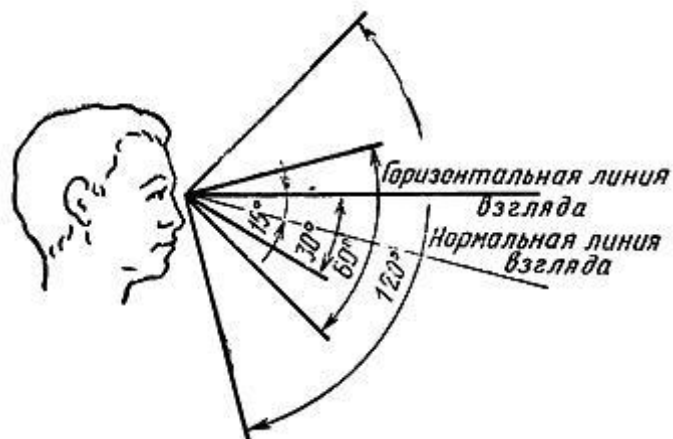
Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		129

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

Требования к размещению средств отображения информации

Зоны зрительного наблюдения в вертикальной плоскости



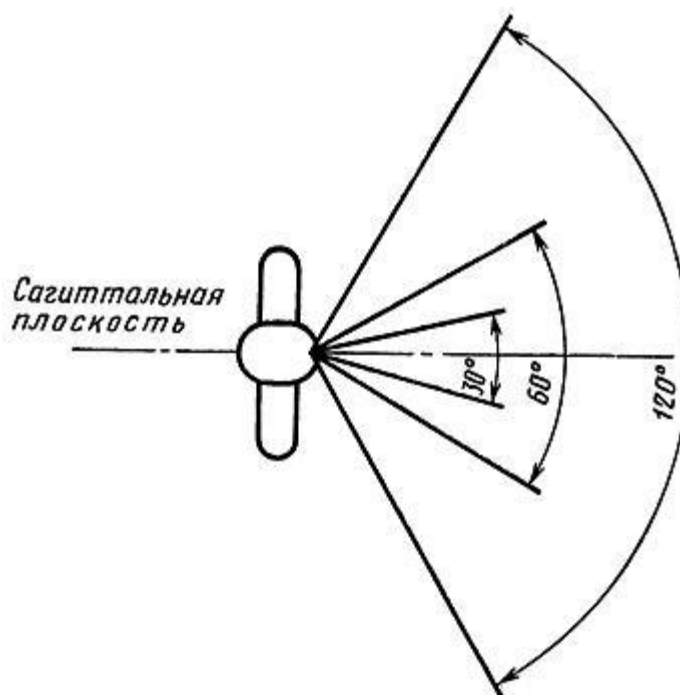
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.140205.012 ПЗ

Лист

130

## Зоны зрительного наблюдения в горизонтальной плоскости



Часто используемые средства отображения информации, требующие менее точного и быстрого считывания показаний, допускается располагать в вертикальной плоскости под углом  $\pm 30^\circ$  от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом  $\pm 30^\circ$  от сагиттальной плоскости.

Производственная деятельность инженера – проектировщика, заставляет его продолжительное время находиться в сидячем положении, которое является вынужденной позой, поэтому организм постоянно испытывает недостаток в подвижности и активной физической деятельности. При выполнении работы сидя большую роль играет плечевой пояс. Перемещение рук в пространстве влияет не только на работу мышц плечевого пояса и спины, но и на положение позвоночника, таза и даже ног.

Чтобы исключить возникновение заболеваний необходимо иметь возможность свободной перемены поз. Необходимо соблюдать режим труда и отдыха с перерывами, заполняемыми “отвлекающими” мышечными

нагрузками на те звенья опорно-двигательного аппарата, которые не включены в поддержание основной рабочей позы (ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ)

По условиям работы рабочее место инженера – проектировщика относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя.

Организация и оборудование рабочих мест с ПЭВМ, согласно СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03:

– рабочее место должно располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева;

– окна в помещениях с ВДТ и ПЭВМ должны быть оборудованы регулируемыми устройствами (жалюзи, занавески, внешние козырьки и т.д.);

– расстояние между рабочими столами с видеомониторами должны быть не менее 2м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м;

– монитор, клавиатура и корпус компьютера должны находиться прямо перед оператором; высота рабочего стола с клавиатурой должна составлять 680 - 800 мм над уровнем пола, а высота экрана (над полом) - 900-1280см;

– монитор должен находиться от оператора на расстоянии 60 - 70 см на 20 градусов ниже уровня глаз;

– пространство для ног должно быть: высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной не менее 450 мм. Должна быть предусмотрена подставка для ног работающего шириной не менее 300 мм с регулировкой угла наклона. Ноги при этом должны быть согнуты под прямым углом.

Для устранения бликов и снижения влияния электромагнитного излучения экраны должны быть снабжены защитными фильтрами.

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		132

## Заключение

На первом этапе был произведен расчет режимов нормального и послеаварийных режимов электрических сетей энергосистемы при помощи программы *gasrvin3*. По результатам каждого расчета были выявлены проблемные узлы, выявлена перегрузка оборудования, в последствии была спроектирована ВЛ 110 кВ Вертикос–Мыльджино. Расчёт проектной схемы энергосистемы при помощи программы *gasrvin3* показал увеличение надёжности сети.

Во второй части ВКР была выбрана схема ОРУ–110 ПС 220 кВ Вертикос, произведён расчёт электрических параметров, выбрано оборудование.

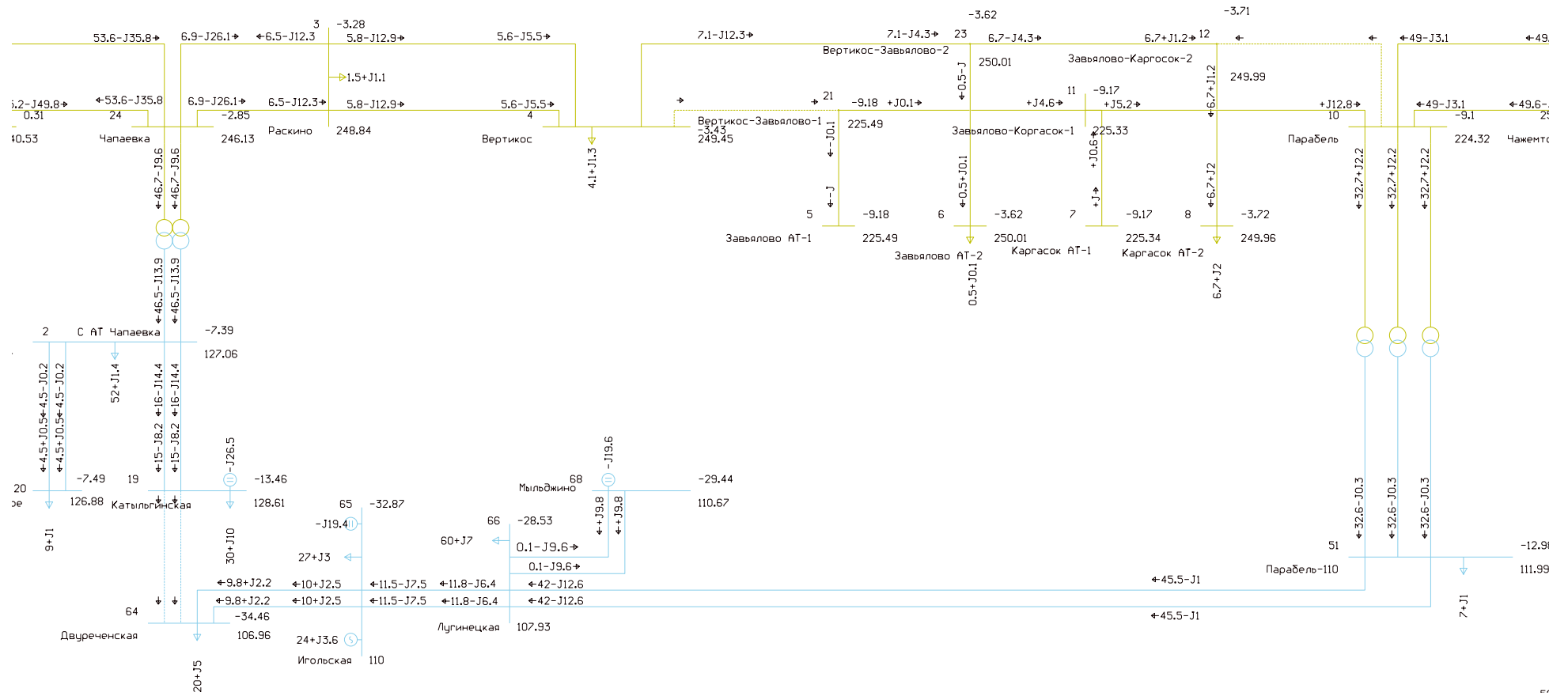
В 3 главе был произведён механический расчёт ВЛ 110 кВ Вертикос–Мыльджино, выбраны: промежуточные, анкерные, переходные опоры, провод рассчитаны фундаменты .

В 4 главе была оценена социальная безопасность, были выявлены вредные и опасные факторы взаимодействия трудящихся с окружающей средой.

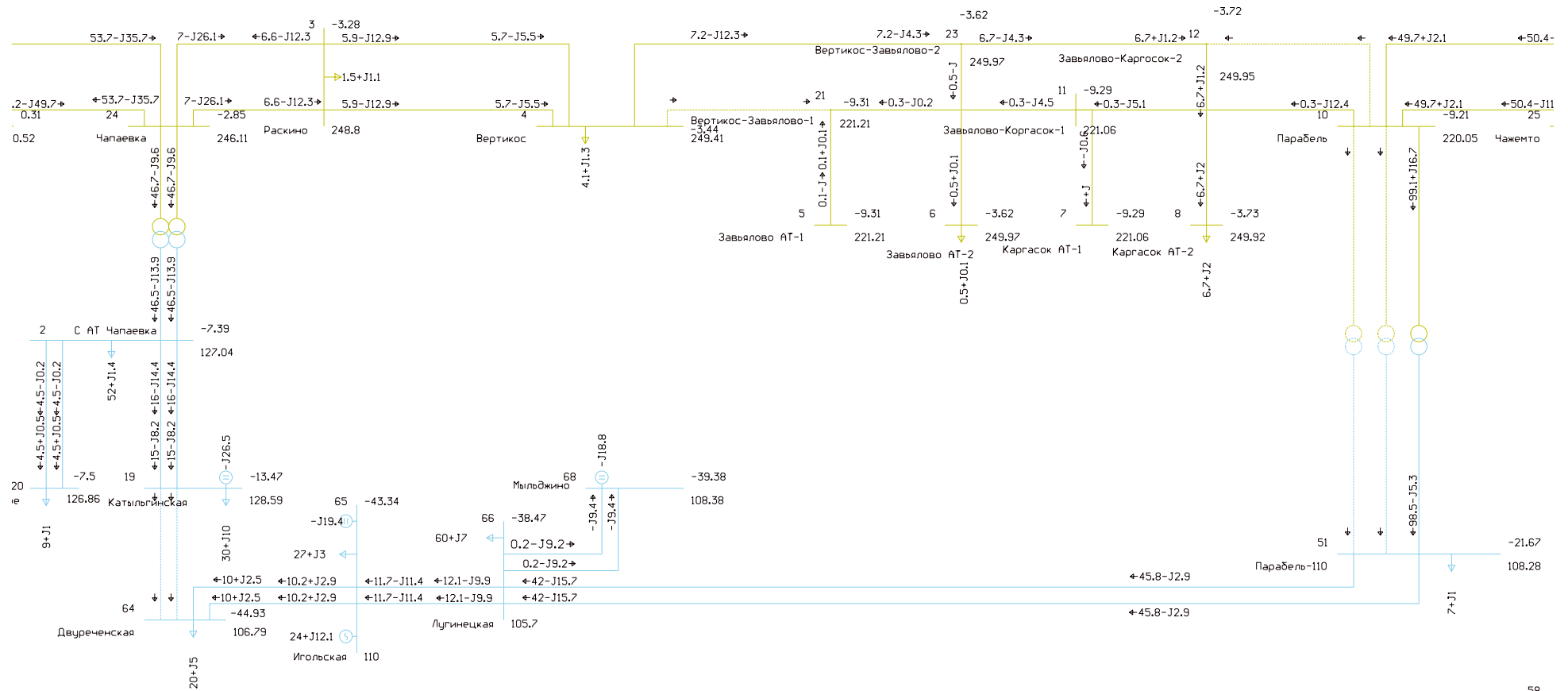
В 5 главе была рассчитана продолжительность научного исследования и составлен календарный график выполнения работ. Были рассчитаны капиталовложения на сооружения новой ЛЭП Вертикос–Мыльджино и стоимость реконструкции ПС 220 кВ Вертикос, суммарные капиталовложения составили 25118977 тыс. руб.

					<b>ФЮРА.140205.012 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>Заключение.</b>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		Сухинин В.В.						
<i>Руковод.</i>		Панкратов А.В.					133	140
<i>Реценз.</i>						ТПУ ИДО ЭНИН ар. 3–9201		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		Прохоров А.В.						

# Приложение 1. Нормальный режим.



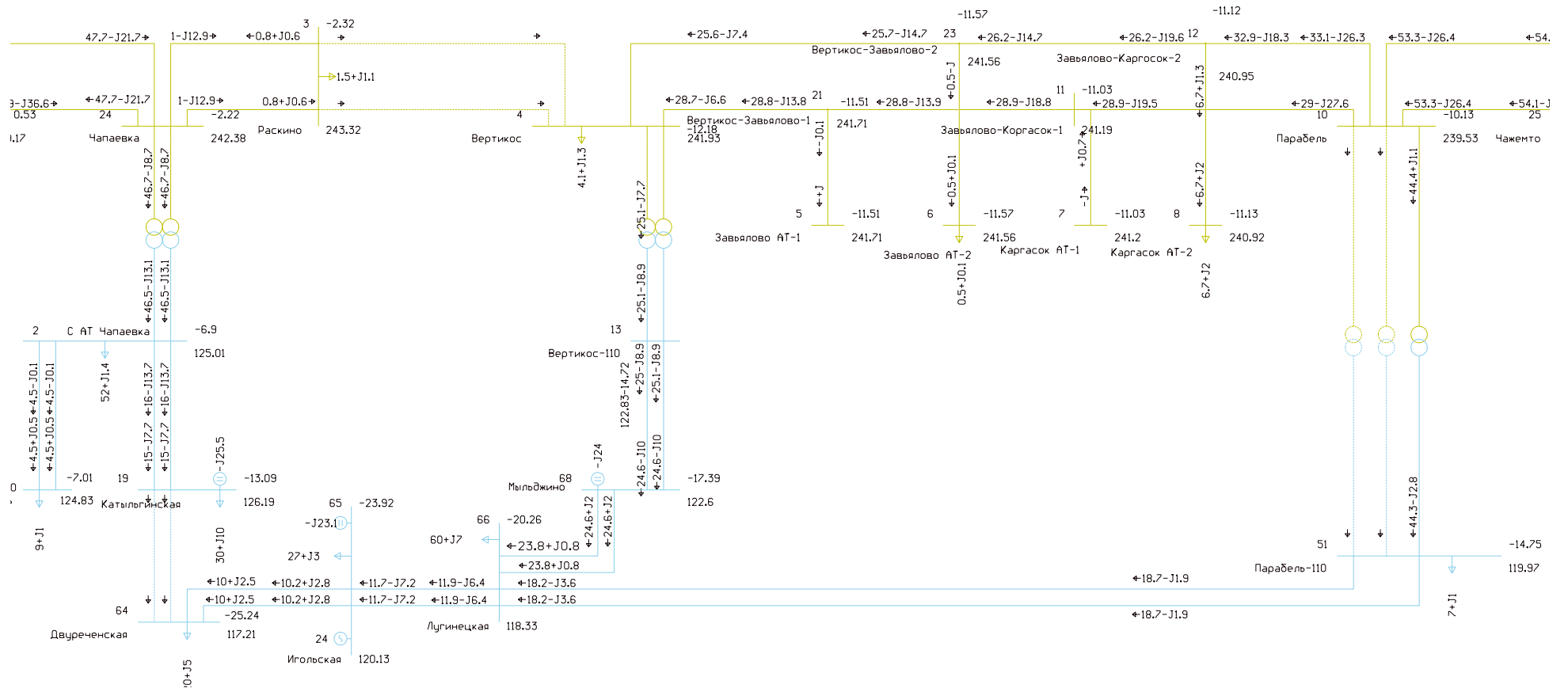
## Приложение 2. Аварийный режим. Отключение АТ-1, АТ-3 на ПС Парабель.







# Приложение 4. Отключение АТ-1, АТ-3 на ПС 220 Парабель.



## Список литературы.

1. Справочник по проектированию электрических сетей/Под редакцией Д.Л.Файбисовича.-2е издание. Изд-во НЦ ЭНАС, 2006г. – 352с.
2. Правила устройства электроустановок.-7 е издание, переработанное и дополненное -М.Энергия, 2003.-649с.
3. Электротехнический справочник: в 3-х томах. Т.2. Электротехнические изделия и устройства / под общей редакцией профессоров МЭИ (главный редактор И.Н. Орлов) [и др.]. – 7-е издание, исправленное и дополненное – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 712с.
4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. / В.И. Идельчик – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
5. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: в 2-х книгах. Книга 2. Проектно-расчетные сведения / под общей редакцией А.А. Фёдорова и Г.В. Сербиновского. – М.: Энергия, 1973. – 520 с.
6. Хомутов, О.И. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания по дипломному проектированию. Часть 1. / О.И. Хомутов, А.Г. Порошенко. – Барнаул, 1982. 50 с.
7. Гук, Ю.Б. Проектирование электрической части станций и подстанций: учебное пособие для вузов / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петров. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1985. – 312 с.
8. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – Новосибирск: Норматика, 2014. – 96 с. – (Кодексы. Законы. Нормы).
9. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.:Энергоатомиздат, 1987.–648 с.
10. Справочник по проектированию подстанций 35-500 кВ / под общей редакцией С.С. Рокотяна – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 352 с.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		138

11. Нейфельд, М.Р. Заземление, защитные меры электробезопасности. – М.: Энергия, 1971. – 312 с.

12. Неклепаев, Б.М. Проектирование электрической части станций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учебное пособие для вузов / Б.М. Неклепаев, И.П. Крючков. – 4-е издание, переработанное и дополненное – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

13. Электрооборудование электростанций и подстанций (примеры расчётов, задачи, справочные данные): Практикум для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / Л.К. Карнеева, Л.Д. Рожкова. – Иваново: МЗЭТ ГОУ СПО ИЭК, 2006. – 224 с.

14. ВППБ 01-02-95 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий (РД 153-34.0 – 03.301-00).

15. ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

16. ГОСТ 12.0.002-80 Система стандартов безопасности труда. Термины и определения

17. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»

18. ГОСТ 12.1.045-84 «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»

19. ГОСТ 12.1.038-82 «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»

20. ГОСТ 12.2.003-91 - «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности»

21. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

22. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		139

23. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

24. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

25. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

26. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

27. СанПиН 2.2.2./2.4.-1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

28. Г.М.Кнорринг., Ю.Б.Оболенцев., Р.И.Берим., В.М.Крючков.

Справочная книга для проектирования электрического освещения // под ред. Г.М.Кнорринга. – Л.: «Энергия», 1976. – 384 с.

					ФЮРА.140205.012 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		140