

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

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение электроэнергетики и электротехники  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Профиль Электроснабжение

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проектирование системы электроснабжения завода по производству источников света</b>

УДК 621.31.031:621.321.002

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А4Д	Юрьев С.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Герасимов Д.Ю.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Потехина Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

## Запланированные результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ОК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Уметь формулировать задачи в области <i>релейной защиты и автоматики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-3, ПК-6, ПК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Уметь проектировать <i>противоаварийную автоматику, релейную защиту</i> .	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-8, ПК-9–14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния релейной защиты и противоаварийной автоматики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-6, ПК-38–44, ПК-51), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-14, ПК-16, ПК-20–21, ПК-37), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Иметь практические знания принципов и технологий релейной защиты и противоаварийной автоматики отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-18, ПК-23–28, ПК-30, ПК-37, ПК-45, ПК-46–51), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-10, ОК-14, ПК-14, ПК-20, ПК-28, ПК-29, ПК-31), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-11, ОК-12, ОК-15, ПК-1, ПК-10, ПК-19, ПК-26), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результ ата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-7, ПК-32, ПК-34), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-7, ОК-9, ПК-4, ПК-35), <i>CDIO Syllabus</i> (2,5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-5, ПК-21, ПК-22, ПК-36), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-10, ОК-13, ОК-16, ПК-31, ПК-33), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

---

Инженерная школа энергетики  
Отделение электроэнергетики и электротехники  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Профиль Электроснабжение

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП 13.03.02

\_\_\_\_\_  
(Подпись)                      \_\_\_\_\_ (Дата)                      Шестакова В.В.  
(Ф.И.О.)

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

В форме:

**бакалаврской работы**

Студенту:

Группа	ФИО
5А4Д	Юрьеву Сергею Вадимовичу

Тема работы:

<b>Проектирование системы электроснабжения завода по производству источников света</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатрат; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является система электроснабжения завода по производству источников света при подробном рассмотрении спирального цеха. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- генплан завода по производству источников света;</li><li>- план спирального цеха;</li><li>- сведения об электрических нагрузках завода и цеха;</li><li>- сведения об электроприемниках спирального цеха.</li></ul>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p>(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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- постановка задачи проектирования;</li> <li>- проектирование системы электроснабжения завода по производству источников света;</li> <li>- детальное рассмотрение особенностей трансформаторных подстанций в системах электроснабжения с последующим выбором цеховых трансформаторов;</li> <li>- обсуждение результатов проделанной работы;</li> <li>- разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;</li> <li>- разработка раздела «Социальная ответственность»;</li> <li>- заключение.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- картограмма электрических нагрузок завода по производству источников света;</li> <li>- план внутризаводского электроснабжения;</li> <li>- однолинейная схема спирального цеха.</li> </ul>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Потехина Нина Васильевна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Амелькович Юлия Александровна</p>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Герасимов Д.Ю.	к. т. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А4Д	Юрьев С.В.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А4Д	Юрьеву Сергею Вадимовичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОЭЭ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклады: – руководитель – 31000 руб; – инженер – 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- 30% премии; - 20% надбавки; - 16% накладные расходы; - 30% районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер страховых взносов 30%.

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

1. Оценка перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT- анализ.
2. Планирование и формирование бюджета проекта	Планирование: -определение структуры работ; - определение участников каждой работы; - установление продолжительности работ; - построение графика проектирования. Формирование бюджета затрат проекта: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления на социальные цели; - накладные расходы. Определение капвложений в проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	Определение ресурсной эффективности проекта

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

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>
ст. преподаватель	Потехина Н.В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А4Д	Юрьев Сергей Вадимович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА»

Студенту:

Группа	ФИО
5А4Д	Юрьеву Сергею Вадимовичу

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1 Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Объектом исследования является система электроснабжения, при проектировании которой используется ПЭВМ</i>
--	--

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

<i>1 Профессиональная социальная безопасность при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света</i> - Анализ вредных и опасных факторов при разработке системы электроснабжения завода по производству источников света - Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов	<i>Основными вредными факторами являются шум, освещение, электромагнитное излучение, несоответствие параметров микроклимата, а опасным фактором является электрический ток.</i>
<i>2 Экологическая безопасность при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света</i>	<i>Описание выбросов, сбросов, твердых отходов рабочего места.</i>
<i>3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света</i>	<i>Наиболее вероятной ЧС в здании может быть пожар</i>
<i>4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света</i>	<i>– Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны; – Социальное страхование работника.</i>

#### Перечень графического материала:

<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	
---	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

#### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Амелькович Ю.А.	К.Т.Н.		

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А4Д	Юрьев Сергей Вадимович		

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроснабжение

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

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
08.02.18	Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет нагрузок цеха.	10
22.02.18	Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок.	15
07.03.18	Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.	15
21.03.18	Выбор и проверка внутризаводских линий. Расчет потерь в КТП и внутризаводских линиях. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП. Выбор и проверка питающих линий ГПП.	10
28.03.18	Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутризаводских линий по токам КЗ.	5
04.04.18	Выбор и проверка высоковольтного оборудования	10
11.04.18	Выбор распределительных пунктов в сети ниже 1000В. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В. Выбор аппаратов защиты и построение карты селективности действия защитных аппаратов. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП.	10
15.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	15
18.05.18	Социальная ответственность.	10
Итого		100



Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Герасимов Д.Ю.	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	К.Т.Н., доцент		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 130 страниц, 17 рисунков, 52 таблицы, 35 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: электроснабжение завода по производству источников света, электроснабжение спирального цеха, выбор высоковольтного оборудования, однолинейная схема, расчёт электрических нагрузок, ресурсоэффективность, социальная ответственность.

Объектом исследования является спиральный цех.

Цель работы – проектирование системы электроснабжения завода по производству источников света. Экономическое обоснование принятых решений.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована система электроснабжения спирального цеха завода по производству источников света и всего завода в целом. При расчете использовались методы коэффициента расчетной мощности (расчетная мощность цеха), метод коэффициента спроса (мощность предприятия), метод удельной плотности нагрузки (мощность осветительной нагрузки). Были рассмотрены вопросы ресурсоэффективности и безопасности проектируемой системы электроснабжения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: завод включает в себя шестнадцать цехов 2 и 3 категорий, напряжение питающей линии – 35 кВ, напряжение внутризаводской сети 10 кВ, основное рабочее напряжение цехов 0,4 кВ.

Область применения: проектирование и эксплуатация системы электроснабжения фабрики по производству мебели.

## **Определения, сокращения, нормативные ссылки**

В выпускной работе использовались следующие сокращения:

ВА – выключатель автоматический;

ВН – высокое напряжение;

ГПП – главная понижающая подстанция;

КЗ – короткое замыкание;

КЛ – кабельная линия;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ЛЭП – линия электропередач;

НН – низкое напряжение;

Р – разъединитель;

РП – распределительный пункт;

РУ – распределительное устройство;

СД – синхронный двигатель;

ТН – трансформатор напряжения;

ТП – трансформаторная подстанция;

ЦТП – цеховая трансформаторная подстанция;

ЦЭН – центр электрических нагрузок;

ШР – шкаф распределительный;

ЭП – электроприемник;

ЭУ – электроустановка.

## Оглавление

Введение.....	15
1 Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет электрических нагрузок цеха .....	17
2 Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом .....	27
3 Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок (ЦЭН), зоны рассеяния условного ЦЭН.....	33
4 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП.....	37
5 Выбор и проверка питающих линий ГПП.....	38
6 Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....	41
7 Выбор и проверка внутризаводских линий.....	47
8 Расчет потерь в КТП и внутризаводских линиях .....	49
8.1 Потери мощности в КТП .....	50
8.2 Потери мощности в кабельных линиях.....	50
8.3 Потери энергии в КТП .....	50
8.4 Потери энергии в кабельных линиях.....	51
9 Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутризаводских линий по токам КЗ .....	52
9.1 Расчет сопротивлений элементов сети .....	52
9.2 Расчет токов КЗ.....	54
9.3 Проверка кабельных линий по токам КЗ .....	55
10 Выбор и проверка высоковольтного оборудования.....	56
10.1 Выбор и проверка оборудования открытого распределительного устройства высокого напряжения главной понижающей подстанции.....	56
10.2 Выбор и проверка комплектного распределительного устройства низкого напряжения главной понижающей подстанции .....	60

10.3	Выбор комплектных трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ.....	67
11	Выбор и проверка аппаратов защиты .....	68
12	Выбор распределительных пунктов (ПР) в сети ниже 1000 В.....	75
13	Выбор и проверка низковольтных линий от КТП до отдельного ЭП.....	76
13.1	Выбор и проверка низковольтных линий от ПР до отдельного ЭП.....	76
13.2	Выбор и проверка низковольтных линий от вводно-распределительного устройства спирального цеха до ПР .....	78
13.3	Выбор и проверка низковольтной линии от КТП до ВРУ .....	79
14	Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП.....	80
14.1	Расчет сети по потерям напряжения в максимальном режиме.....	82
14.2	Расчет сети по потерям напряжения в минимальном режиме.....	83
14.3	Расчет сети по потерям напряжения в послеаварийном режиме.....	85
15	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В.....	88
16	Построение карты селективности действия защитных аппаратов ..	95
17	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света.....	96
17.1	SWOT-анализ .....	96
17.2	Планирование проекта .....	99
17.3	Определение трудоемкости выполнения работ.....	100
17.4	Бюджет проекта .....	104
17.4.1	Расчет материальных затрат проекта .....	104

17.4.2	Основная заработная плата (ЗП) исполнителей .....	105
17.4.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	106
17.4.4	Накладные расходы .....	107
17.4.5	Формирование затрат проекта.....	107
17.4.6	Затраты на комплектацию главной понижающей подстанции .....	107
17.5	Ресурсоэффективность .....	109
18	Социальная ответственность при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света.....	111
18.1	Анализ вредных и опасных факторов при разработке системы электроснабжения .....	111
18.1.1	Параметры микроклимата .....	112
18.1.2	Производственный шум на рабочем месте .....	114
18.1.3	Электромагнитные поля .....	114
18.1.4	Освещение .....	115
18.1.5	Электроопасность .....	117
18.2	Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов .....	117
18.3	Экологическая безопасность при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света.....	119
18.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света .....	120
18.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света.....	122
	Заключение .....	124
	Список использованных источников .....	125
	Приложения	

## Введение

В данной работе проектируется система электроснабжения завода по производству источников света и, в частности, внутрицеховое электроснабжение спирального цеха.

В первом разделе производится выбор схемы внутрицехового электроснабжения и расчет электрических нагрузок спирального цеха.

Во втором разделе выполняется расчет электрических нагрузок остальных цехов и всего предприятия в целом.

В третьем разделе представлен расчет и построение центра электрических нагрузок и зоны рассеяния предприятия.

В четвертом разделе производится выбор числа и мощности силовых трансформаторов, устанавливаемых на главной понижающей подстанции.

В пятом разделе выполняется выбор и проверка воздушной линии, питающей главную понижающую подстанцию.

В шестом разделе представлен выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций.

В седьмом разделе производится выбор и проверка кабельных линий внутризаводского электроснабжения.

В восьмом разделе выполняется расчет потерь мощности и энергии в трансформаторах цеховых трансформаторных подстанций и кабельных линиях внутризаводского электроснабжения.

В девятом разделе представлен расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.

В десятом разделе производится выбор и проверка высоковольтного оборудования главной понижающей подстанции и цеховых трансформаторных подстанций.

В одиннадцатом разделе выполняется выбор и проверка аппаратов защиты электрической сети, снабжающей спиральный цех.

В двенадцатом разделе представлен выбор низковольтных распределительных пунктов.

В тринадцатом разделе производится выбор и проверка низковольтных кабельных линий.

В четырнадцатом разделе выполняется проверка сети до 1000 В по потерям напряжения и построение эпюры отклонения напряжения.

В пятнадцатом разделе представлен расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В.

В шестнадцатом разделе производится построение карты селективности действия аппаратов защиты в сети до 1000 В.

При выполнении проекта закрепляются теоретические знания, полученные при изучении таких дисциплин, как электроснабжение, основы расчета и проектирования электроснабжения промышленных предприятий, математическое моделирование в системах электроснабжения.



## 1 Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет электрических нагрузок цеха

В качестве цеха, представленного для подробного расчета нагрузок, был задан спиральный цех завода по производству источников света. Это помещение с жаркой, пыльной средой.

Большая часть электроприемников цеха относятся ко второй категории потребителей по надежности электроснабжения.

Исходя из всего вышеперечисленного, а также расположения электроприемников по территории цеха, была выбрана радиальная схема электроснабжения с прокладкой кабелей открыто с помощью скоб. Схема силовой сети спирального цеха показана на рисунке 1.

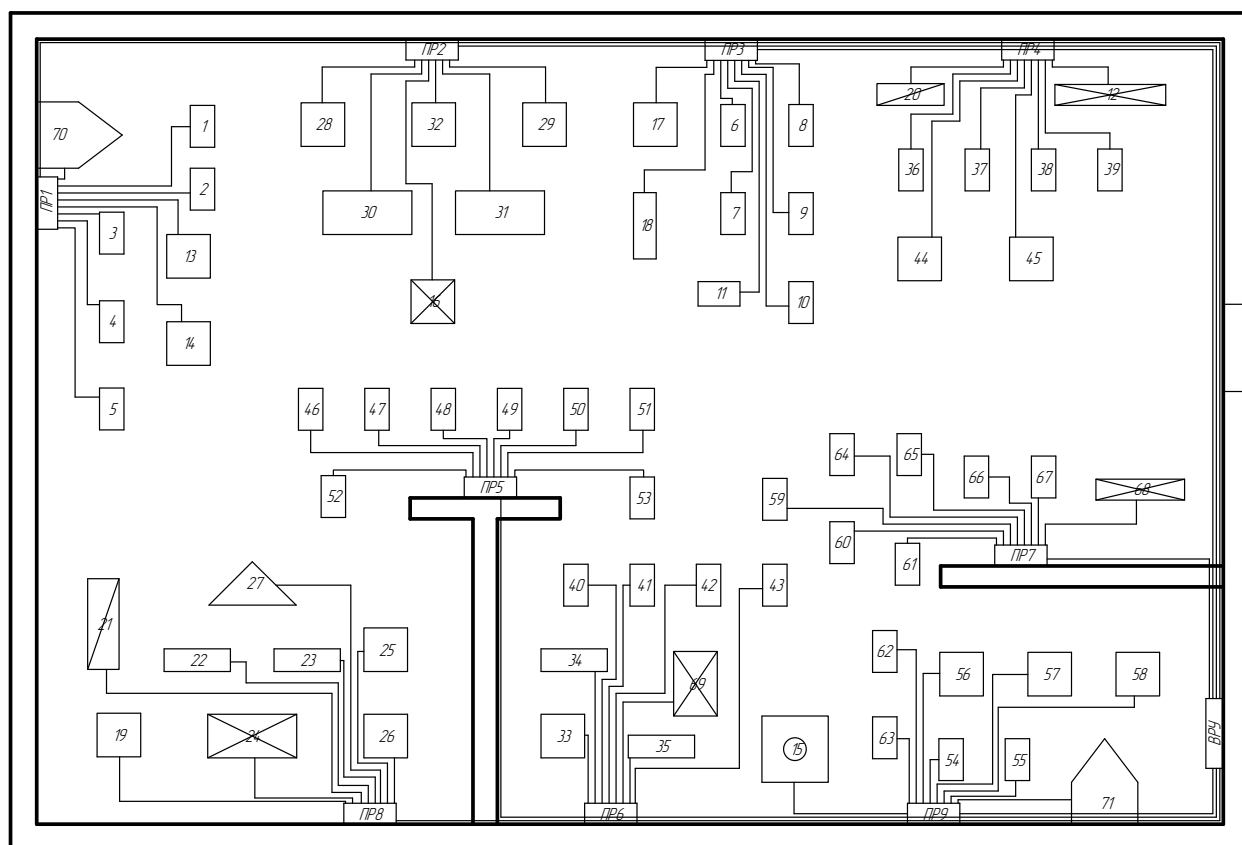


Рисунок 1 – Схема силовой сети спирального цеха

Нагрузки спирального цеха завода по производству источников света рассчитывались по методу коэффициента расчетной активной мощности. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет нагрузок спирального цеха методом коэффициента расчетной активной мощности

Исходные данные						Расчетные величины				Расчетная мощность				
по заданию технологов				по справочным данным		$K_{и} \cdot P_{н}$	$K_{и} \cdot P_{н} \cdot \text{tg}\varphi$	$n \cdot P_{н}^2$						
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Коэффициент использования	Коэффициент реактивной мощности									
		одного ЭП	общая											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>ПР 1</b>														
Вентилятор	1	40	40	0,65	0,8/0,75	26	19,5	1600						
Автомат сварки электродов	5	0,54	2,7	0,2	0,65/1,17	0,54	0,63	1,46						
Станок радиально-сверлильный	2	0,55	1,1	0,12	0,4/2,29	0,13	0,3	0,61						
<b>Итого</b>	8		43,8	0,61		26,67	20,43	1602	1	1,311	34,97	22,48	41,57	63,16

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>ПР 2</b>														
Преобразователь частоты	2	33,2	66,4	0,7	0,65/1,17	46,48	54,38	2204						
Настольный токарный станок	1	0,25	0,25	0,12	0,4/2,29	0,03	0,07	0,06						
Станок перемотки	2	1,1	2,2	0,12	0,4/2,29	0,26	0,61	2,42						
Станок радиально-сверлильный	1	1	1	0,12	0,4/2,29	0,12	0,27	1						
<b>Итого</b>	6		69,85	0,67		46,89	55,33	2207	2	1,2	56,13	60,86	82,8	125,79
<b>ПР 4</b>														
Печь препарирования	1	6	6	0,8	0,95/0,33	4,8	1,58	36						
Печь муфельная	1	2,5	2,5	0,7	0,95/0,33	1,75	0,58	6,25						
Станок резки спирали	4	1,3	5,2	0,12	0,4/2,29	0,62	1,43	6,76						
Станок ручной резки спирали	2	0,32	0,64	0,12	0,4/2,29	0,08	0,18	0,21						
<b>Итого</b>	8		14,34	0,51		7,25	3,77	49,21	4	1,2	8,7	4,14	9,64	14,64

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>ПР 3</b>														
Печь муфельная стационарная	3	12	36	0,8	0,95/0,33	28,8	9,5	432						
Печь отжига никелированной стальной проволоки	2	8	16	0,8	0,95/0,33	12,8	4,22	128						
Установка алюминирования никелевой проволоки	1	2,5	2,5	0,7	0,85/0,62	1,75	1,09	6,25						
Станок токарно-винторезный	1	3,2	3,2	0,13	0,45/1,98	0,42	0,82	10,24						
Точильно-шлифовальный станок	1	0,18	0,18	0,12	0,4/2,29	0,02	0,05	0,03						
<b>Итого</b>	8		57,88	0,76		43,79	15,69	576,5	5	1,012	44,31	17,26	47,55	72,25
<b>ПР 3 + ПР 4</b>														
ПР 3	8		57,88	0,76		43,79	15,69	576,5						
ПР 4	8		14,34	0,51		7,25	3,77	49,21						
<b>Итого</b>	16		72,22	0,71		51,04	19,45	625,7	8	1	51,04	21,4	55,34	84,08

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>ПР 6</b>														
Станок резки спирали	4	1,3	5,2	0,12	0,4/2,29	0,62	1,43	6,76						
Точильно-шлифовальный станок	1	1,5	1,5	0,12	0,4/2,29	0,18	0,41	2,25						
Станок координатно-расточный	1	3,2	3,2	0,13	0,45/1,98	0,42	0,82	10,24						
Станок токарный	1	3,3	3,3	0,13	0,45/1,98	0,43	0,85	10,89						
Однозонная печь с перемоткой	1	2,5	2,5	0,5	0,85/0,62	1,25	0,78	6,25						
<b>Итого</b>	8		15,7	0,18		2,9	4,29	36,39	6	1,76	5,09	4,72	6,94	10,55
<b>ПР 5</b>														
Станок спирализации	3	0,65	1,95	0,12	0,4/2,29	0,23	0,54	1,27						
	3	0,55	1,65	0,12	0,4/2,29	0,2	0,45	0,91						
	2	2,2	4,4	0,13	0,45/1,98	0,57	1,13	9,68						
<b>Итого</b>	8		8	0,13		1	2,12	11,86	5	2,39	2,4	2,33	3,35	5,09
<b>ПР 5 + ПР 6</b>														
ПР 5	8		8	0,13		1	2,12	11,86						
ПР 6	8		15,7	0,18		2,9	4,29	36,39						
<b>Итого</b>	16		23,7	0,16		3,9	6,41	48,25	11	1,558	6,08	6,41	8,84	13,43

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>ПР 7</b>														
Полуавтомат резки спирали с препарированием	4	4,5	18	0,14	0,5/1,73	2,52	4,36	81						
Станок спирализации скоростной	3	2,7	8,1	0,13	0,45/1,98	1,05	2,09	21,87						
Двухзонная печь препарирования с перемоткой	1	5,3	5,3	0,5	0,85/0,62	2,65	1,64	28,09						
<b>Итого</b>	8		31,4	0,2		6,22	8,09	131	7	1,54	9,58	8,9	13,08	19,87
<b>ПР 8</b>														
Установка алюминирования	2	6,2	12,4	0,7	0,95/0,33	8,68	2,86	76,88						
Печь сушильная	1	2,5	2,5	0,75	1/0	1,88	0	6,25						
Печь высокотемпературная	1	11,1	11,1	0,7	0,95/0,33	7,77	2,56	123,2						
Намоточное устройство	2	1,6	3,2	0,7	0,85/0,62	2,24	1,39	5,12						
Механическая мешалка	1	0,27	0,27	0,43	0,78/0,8	0,12	0,09	0,07						
Шаровая мельница	1	0,55	0,55	0,85	0,8/0,75	0,47	0,35	0,3						
<b>Итого</b>	8		30,02	0,7		21,15	7,26	211,8	4	1,06	22,42	7,99	23,8	36,16

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>ПР 9</b>														
Дисцилятор	1	55	55	0,7	0,9/0,48	39	18,48	3025						
Вентилятор	1	40	40	0,65	0,8/0,75	26	19,5	1600						
Станок спирализации	2	6,1	12,2	0,14	0,5/1,73	1,71	2,96	74,42						
	3	3,2	9,6	0,13	0,45/1,98	1,25	2,47	30,72						
	2	2,2	4,4	0,13	0,45/1,98	0,57	1,13	9,68						
<b>Итого</b>	9		121,2	0,56		68,03	44,54	4740	3	1,268	86,26	48,99	99,2	150,72
<b>НКУ</b>														
ПР 1	8		43,8	0,61		26,67	20,43	1602						
ПР 2	6		69,85	0,67		46,89	55,33	2208						
ПР 3 + ПР 4	16		72,22	0,71		51,04	19,45	625,7						
ПР 5 + ПР 6	16		23,7	0,16		3,9	6,41	48,25						
ПР 7	8		31,4	0,2		6,22	8,09	131						
ПР 8	8		30,02	0,7		21,15	7,26	211,8						
ПР 9	9		121,2	0,56		68,03	44,54	4740						
<b>Итого силовая нагрузка ВРУ</b>	71		392,2	0,57		223,9	161,5	9567	16	0,885	198,2	161,5	255,6	388,41

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Осветительная нагрузка			18,54	$K_{co}$ 0,95							17,61			
<b>Итого нагрузка ВРУ</b>			410,7								215,8	161,5	269,5	409,5



В качестве примера приведен расчет тока группы электроприемников, подключенных через распределительный пункт 1.

Для отдельных электроприемников в ПР 1:

графы 1-4 заполняются данными, представленными в задании проекта;

графы 5-6 заполняются справочными данными (таблица 1.7) [1];

графы 7-9 – значения, рассчитанные по следующим формулам:

$$K_{И} \cdot P_{Н}, \quad (1)$$

$$K_{И} \cdot P_{Н} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

$$n \cdot p_{Н}^2. \quad (3)$$

Для распределительного пункта заполняются следующие графы:

графа 4 – сумма мощностей всех электроприемников в пункте;

графа 5 – групповой коэффициент использования рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{И} = \frac{\Sigma(K_{И} \cdot P_{Н})}{\Sigma P_{Н}} = \frac{26 + 0,54 + 0,13}{43,8} = 0,61; \quad (4)$$

графы 7-9 – суммы значений для отдельных электроприемников, т.е.

$$\Sigma(K_{И} \cdot P_{Н}), \quad (5)$$

$$\Sigma(K_{И} \cdot P_{Н} \cdot \operatorname{tg} \varphi), \quad (6)$$

$$\Sigma(n \cdot p_{Н}^2); \quad (7)$$

графа 10 – эффективное число электроприемников рассчитывается по следующей формуле:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\Sigma P_{Н})^2}{\Sigma(n \cdot p_{Н}^2)} = \frac{43,8^2}{1602} = 1,2 \approx 1; \quad (8)$$

графа 11 – коэффициент расчетной активной мощности, определяемый по справочным данным, исходя из эффективного числа электроприемников и группового коэффициента использования (таблица 3.3 и 3.4) [2];

графа 12 – расчетная активная мощность, протекающая через распределительный пункт, находится по следующей формуле:

$$P_{Р} = K_{Р} \cdot K_{И} \cdot P_{Н} = 1,31 \cdot 26,67 = 34,97 \text{ кВт}; \quad (9)$$

графа 13 – расчетная реактивная мощность, протекающая через распределительный пункт, находится исходя из следующего условия:

$$\begin{aligned} n_{\text{э}} > 10: Q_{\text{р}} &= K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}} \cdot \text{tg} \varphi; \\ n_{\text{э}} \leq 10: Q_{\text{р}} &= 1,1 \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}} \cdot \text{tg} \varphi = 1,1 \cdot 20,43 = 22,48 \text{ кВар}; \end{aligned} \quad (10)$$

графа 14 – расчетная полная мощность рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2} = \sqrt{34,97^2 + 22,48^2} = 41,57 \text{ кВА}; \quad (11)$$

графа 15 – расчетный ток через распределительный пункт рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{41,57}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 63,16 \text{ А}. \quad (12)$$

## 2 Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом

Расчет электрических нагрузок всего предприятия производился по методу коэффициента спроса.

Расчетная мощность предприятия определяется по расчетным активным и реактивным мощностям цехов, расчетной мощности электрической нагрузки и потерь мощности в трансформаторах и высоковольтных линиях.

Расчет силовой и осветительной нагрузки рассмотрим на примере сборочного цеха.

Расчетная активная мощность сборочного цеха:

$$P_p = K_C \cdot P_{\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 585 = 292,5 \text{ кВт}, \quad (13)$$

где  $K_C$  – коэффициент спроса цеха, выбранный по таблице 1.6 [1];

$P_{\text{НОМ}}$  – установленная мощность цеха, кВт.

Расчетная реактивная мощность сборочного цеха:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg} \varphi = 292,5 \cdot 0,88 = 257,4 \text{ кВар}, \quad (14)$$

где  $\text{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности цеха, выбранный по таблице 1.6 [1].

Расчетная мощность силовой нагрузки остальных цехов рассчитывается аналогично. Вычисленная силовая нагрузка представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Силовая нагрузка завода

№ цеха	Наименование потребителей	Силовая нагрузка				
		$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	$K_C$	$\cos \varphi / \text{tg} \varphi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВар
1	2	3	4	5	6	7
<b>Потребители электроэнергии 0,38 кВ</b>						
1	Спиральный цех	392,19	–	–	198,16	161,51
2	Цокольный цех	450	0,45	0,75/0,88	202,5	178,2

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
3	Сборочный цех	585	0,5	0,75/0,88	292,5	257,4
4	Стекольный цех (первый участок)	600	0,5	0,75/0,88	300	264
5	Стекольный цех (второй участок)	400	0,5	0,75/0,88	200	176
6	Компрессорная	190	0,7	0,75/0,88	133	117,04
7	Инструментальный цех	350	0,3	0,7/1,02	105	107,1
8	Котельная	120	0,5	0,8/0,75	60	45
9	Энергоцех	160	0,3	0,75/0,88	48	42,24
10	Административный корпус	450	0,45	0,75/0,88	202,5	178,2
11	Клееварный цех	75	0,35	0,7/1,02	26,25	26,775
12	Газоочистительная станция	150	0,35	0,7/1,02	52,5	53,55
13	Очистные сооружения	170	0,3	0,7/1,02	51	52,02
14	Столярный цех	55	0,3	0,8/0,75	16,5	12,375
15	Электрокарная	450	0,7	0,8/0,75	315	236,25
16	Корпус нестандартного оборудования	270	0,3	0,7/1,02	81	82,62
<b>Итого по 0,38 кВ</b>		<b>4867,2</b>	–	–	<b>2283,9</b>	<b>1990,3</b>
<b>Потребители электроэнергии 10 кВ</b>						
6	Компрессорная СД 10 кВ	1260	0,7	1/0	882	0
<b>Итого по 10 кВ</b>		<b>1260</b>	–	–	<b>882</b>	<b>0</b>

Номинальная осветительная мощность сборочного цеха:

$$P_{\text{но}} = \frac{F \cdot P_{\text{уд}}}{1000} = \frac{3714 \cdot 14}{1000} = 51,99 \text{ кВт}, \quad (15)$$

где  $F$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>;

$P_{\text{уд}}$  – удельная мощность осветительной нагрузки, определяемая по таблице 1.11, Вт/м<sup>2</sup> [1].

Расчетная осветительная мощность сборочного цеха:

$$P_{\text{ро}} = K_{\text{со}} \cdot P_{\text{но}} = 0,85 \cdot 51,99 = 44,19 \text{ кВт}, \quad (16)$$

где  $K_{co}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки, определяемый по таблице 1.10 [1].

Расчет осветительной мощности остальных цехов представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Осветительная нагрузка цехов и предприятия в целом

№ цеха	Наименование потребителей	Осветительная нагрузка				
		$F, \text{ м}^2$	$P_{уд}, \text{ Вт/м}^2$	$P_{но}, \text{ кВт}$	$K_{co}$	$P_{ро}, \text{ кВт}$
1	2	3	4	5	6	7
1	Спиральный цех	5114	15	76,71	0,85	65,20
2	Цокольный цех	4156	15	62,33	0,85	52,98
3	Сборочный цех	3714	14	51,99	0,85	44,19
4	Стекольный цех (первый участок)	2276	15	34,15	0,85	29,03
5	Стекольный цех (второй участок)	2486	15	37,28	0,85	31,69
6	Компрессорная	699	17	11,89	0,85	10,10
7	Инструментальный цех	2142	15	32,13	0,85	27,31
8	Котельная	533	17	9,06	1	9,06
9	Энергоцех	961	17	16,34	1	16,34
10	Административный корпус	4409	20	88,18	0,9	79,36
11	Клееварный цех	341	17	5,80	1	5,80
12	Газоочистительная станция	1421	17	24,16	0,85	20,54
13	Очистные сооружения	798	17	13,57	0,85	11,53
14	Столярный цех	1832	15	27,47	0,85	23,35
15	Электрокарная	1889	17	32,12	0,85	27,30
16	Корпус нестандартного оборудования	1228	17	20,88	0,85	17,75
	Освещение территории	25016	0,16	4	1	4
<b>Итого по 0,38 кВ</b>		<b>59016</b>	–	<b>548,08</b>	–	<b>471,55</b>

Полная мощность сборочного цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{po})^2 + Q_p^2} = \sqrt{(292,5 + 44,19)^2 + 257,4^2} = 423,81 \text{ кВА.} \quad (17)$$

Расчет осветительной мощности остальных цехов представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Полная нагрузка цехов и предприятия в целом

№ цеха	Наименование потребителей	Полная нагрузка		
		$P_p + P_{po}$ , кВт	$Q_p$ , кВар	$S_p$ , кВА
1	2	3	4	5
1	Спиральный цех	263,36	161,514	308,94
2	Цокольный цех	255,48	178,2	311,49
3	Сборочный цех	336,69	257,4	423,81
4	Стекольный цех (первый участок)	329,03	264	421,85
5	Стекольный цех (второй участок)	231,69	176	290,96
6	Компрессорная	143,10	117	184,87
7	Инструментальный цех	132,31	107,1	170,23
8	Котельная	69,06	45	82,43
9	Энергоцех	64,34	42,24	76,97
10	Административный корпус	281,86	178,2	333,47
11	Клееварный цех	32,05	26,775	41,76
12	Газоочистительная станция	73,04	53,55	90,56
13	Очистные сооружения	62,53	52,02	81,34
14	Столярный цех	39,85	12,375	41,73
15	Электрокарная	342,30	236,25	415,91
16	Корпус нестандартного оборудования	98,75	82,62	128,76
	Освещение территории	4	0	4
<b>Итого по 0,38 кВ</b>		<b>2755,46</b>	<b>1990,28</b>	<b>3405,08</b>
6	Компрессорная СД 10 кВ	882	0	882
<b>Итого по 10 кВ</b>		<b>882</b>	<b>0</b>	<b>882</b>

Приближенные потери мощности в цеховых трансформаторах и высоковольтных линиях рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p = 0,02 \cdot 3405,08 = 68,1 \text{ кВт}; \quad (18)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p = 0,1 \cdot 3405,08 = 340,51 \text{ кВар}; \quad (19)$$

$$\Delta P_{л} = 0,03 \cdot S_p = 0,03 \cdot 3405,08 = 102,15 \text{ кВт}. \quad (20)$$

Суммарные расчетные активная и реактивная мощности, отнесенные к шинам 10 кВ ГПП:

$$P_{p\Sigma} = (\Sigma P_P^H + \Sigma P_P^B) \cdot K_{p.m(a)} + P_{po} + \Delta P_T + \Delta P_{л} = (2755,46 + 882) \cdot 0,95 + 471,55 + 68,1 + 102,15 = 3649,42 \text{ кВт}; \quad (21)$$

$$Q_{p\Sigma} = (\Sigma Q_P^H + \Sigma Q_P^B) \cdot K_{p.m(p)} + \Delta Q_T = (1990,28 + 0) \cdot 0,9 + 340,51 = 2131,76 \text{ кВар}, \quad (22)$$

где  $K_{p.m}$  – коэффициент разновременности максимумов нагрузки отдельных групп электроприемников, принимаемый для активной мощности 0,95, для реактивной – 0,9 [2].

Полная мощность предприятия на шинах 10 кВ ГПП рассчитывается по формуле:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{3649,42^2 + 2131,76^2} = 4226,43 \text{ кВА}. \quad (23)$$

Наибольшее значение реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы в сеть предприятия в режиме наибольших активных нагрузок энергосистемы:

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 3649,42 = 875,86 \text{ кВар}, \quad (24)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, меняющийся в зависимости от величины напряжения питающей линии.

Мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{кy} = Q_{p\Sigma} - Q_c = 2131,76 - 875,86 = 1255,9 \text{ кВар}. \quad (25)$$

Потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{т.ГПП} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 4226,43 = 84,53 \text{ кВт}; \quad (26)$$

$$\Delta Q_{т.ГПП} = 0,1 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 4226,43 = 422,64 \text{ кВар}. \quad (27)$$

Полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП:

$$\begin{aligned} S_{p, ГПП} &= \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{т.ГПП})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{т.ГПП} - Q_{ку})^2} = \\ &= \sqrt{(3649,42 + 84,53)^2 + (2131,76 + 422,64 - 1255,9)^2} = 3953,29 \text{ кВА.} \end{aligned} \quad (28)$$



### 3 Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок (ЦЭН), зоны рассеяния условного ЦЭН

Картограмма нагрузок позволяет наглядно представить распределение электрических нагрузок по территории предприятия.

Определение основных параметров для построения картограммы на примере административного корпуса приведено ниже.

Радиус окружности, отображающей величину мощности административного цеха, определяется по формуле:

$$r = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{281,86}{3,14 \cdot 0,1}} = 29,95 \text{ мм}, \quad (29)$$

где  $P_p$  – расчетная активная мощность цеха, включающая в себя осветительную нагрузку, кВт;

$m$  – масштаб площади окружности, кВт/мм<sup>2</sup>.

На окружности для каждого цеха выделяется сектор, отображающий долю осветительной нагрузки, который рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{po}}{P_p} = \frac{360 \cdot 79,36}{281,86} = 101,36^\circ. \quad (30)$$

На генеральном плане предприятия находятся координаты условного центра масс каждого цеха, затем рассчитываются координаты условного центра электрических нагрузок:

$$x_0 = \frac{\Sigma(P_{pi} \cdot x_i)}{\Sigma P_{pi}} = \frac{584202,28}{3637,46} = 160,61 \text{ мм}; \quad (31)$$

$$y_0 = \frac{\Sigma(P_{pi} \cdot y_i)}{\Sigma P_{pi}} = \frac{375643,56}{3637,46} = 103,27 \text{ мм}. \quad (32)$$

Расчет зоны рассеяния ЦЭН начинается с определения эмпирических вероятностей (на примере котельной):

$$P_X = P_Y = \frac{P}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{69,06}{3637,46} = 0,02. \quad (33)$$

Среднеквадратичное отклонение координат ЦЭН:

$$\sigma_X^2 = \sum_{i=1}^n P_{Xi} \cdot (X_i - m_X)^2 = 4470,07 \text{ кВт} \cdot \text{мм}^2; \quad (34)$$

$$\sigma_Y^2 = \sum_{i=1}^n P_{Yi} \cdot (Y_i - m_Y)^2 = 2272,52 \text{ кВт} \cdot \text{мм}^2, \quad (35)$$

где  $X_i, Y_i$  – координаты центра цеха;

$m_X, m_Y$  – математическое ожидание, равное координатам ЦЭН.

Меры точности случайных величин:

$$h_X = \frac{1}{\sigma_X \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{4470,07} \cdot \sqrt{2}} = 0,011; \quad (36)$$

$$h_Y = \frac{1}{\sigma_Y \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2272,52} \cdot \sqrt{2}} = 0,015. \quad (37)$$

Длины полуосей эллипса, являющегося зоной рассеяния ЦЭН:

$$R_X = \frac{\sqrt{3}}{h_X} = \frac{\sqrt{3}}{0,011} = 163,77 \text{ мм}; \quad (38)$$

$$R_Y = \frac{\sqrt{3}}{h_Y} = \frac{\sqrt{3}}{0,015} = 116,77 \text{ мм}. \quad (39)$$

Картограмма нагрузок представлена на рисунке 2.

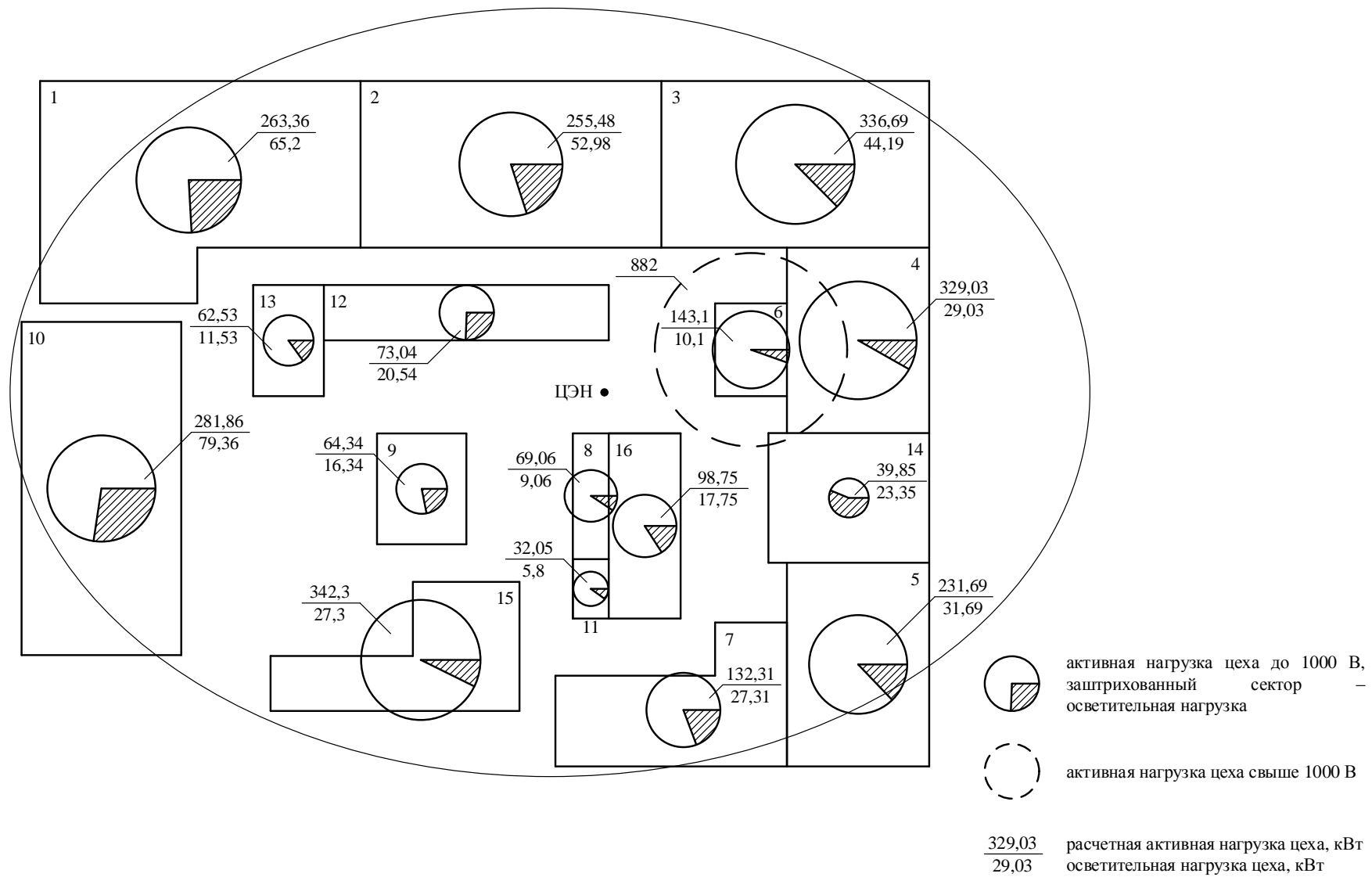


Рисунок 2 – Картограмма нагрузок

Расчеты параметров, необходимых для определения зоны рассеяния ЦЭН, для остальных цехов сведены в таблицу

5.

Таблица 5 – Параметры для расчета картограммы нагрузок

№ цеха	$r_i$ , мм	$\alpha$ , град	$X_i$ , мм	$Y_i$ , мм	$P_{pi} \cdot X_i$	$P_{pi} \cdot Y_i$	$P_{Xi} = P_{Yi}$	$P_{Xi} \cdot (X_i - X_0)^2$	$P_{Yi} \cdot (Y_i - Y_0)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28,95	89,13	46,06	161,9	12131,63	42637,13	0,07	949,92	248,84
2	28,52	74,66	134,85	166,23	34451,75	42468,86	0,07	46,60	278,40
3	32,74	47,25	213,2	166,23	71783,51	55968,38	0,09	256,04	366,90
4	32,36	31,76	230,5	117,63	75841,40	38704,22	0,09	441,91	18,66
5	27,16	49,24	230,53	28,15	53410,52	6522,27	0,06	311,38	359,44
6	21,34	25,42	201	115,03	28763,91	16461,05	0,04	64,19	5,44
7	20,52	74,31	182,37	15,58	24129,20	2060,98	0,04	17,22	279,73
8	14,83	47,24	156,88	74,69	10834,53	5158,29	0,02	0,26	15,51
9	14,31	91,43	110,25	76,63	7093,96	4930,42	0,02	44,85	12,56
10	29,95	101,36	22	76,73	6200,96	21626,88	0,08	1488,71	54,59
11	10,10	65,18	156,85	49,03	5027,53	1571,52	0,01	0,12	25,93
12	15,25	101,22	122,66	125,29	8958,33	9150,55	0,02	28,92	9,73
13	14,11	66,39	73,53	117,61	4598,16	7354,05	0,02	130,34	3,53
14	11,26	210,95	227,95	74,13	9084,58	2954,28	0,01	49,69	9,30
15	33,01	28,71	110,01	29,4	37654,67	10063,49	0,09	240,95	513,52
16	17,73	64,71	171,7	66,39	16955,64	6555,98	0,03	3,34	36,93
6	52,99	–	201	115,03	177282	101455,2	0,24	395,62	33,52

#### 4 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия производится с помощью формулы Илларионова:

$$U_{\text{эк}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{7,5} + \frac{2500}{3,733}}} = 36,9 \text{ кВ}, \quad (40)$$

где  $L$  – длина питающей линии, км;

$P$  – передаваемая мощность, равная расчетной нагрузке предприятия, отнесенной к шинам ВН ГПП, МВт.

Согласно рекомендациям по выбору напряжения [2], на предприятиях, имеющих передаваемую мощность менее 10 МВт, экономически выгодно использовать напряжение 35 кВ, что подтверждается расчетами.

Таким образом,  $U_{\text{ВН.ГПП}} = 35 \text{ кВ}$ .

Расчетная мощность трансформаторов ГПП определяется по формуле:

$$S_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{2 \cdot \beta} = \frac{3953,29}{2 \cdot 0,7} = 2824 \text{ кВА}, \quad (41)$$

где  $\beta$  – коэффициент загрузки.

Выбор трансформаторов на ГПП осуществляется по следующим параметрам:  $S_{\text{тр}} = 2,824 \text{ МВА}$ ,  $U_{\text{ВН}} = 35 \text{ кВ}$ ,  $U_{\text{НН}} = 10 \text{ кВ}$ . К установке принимается трехфазный трансформатор с естественным масляным охлаждением ТМН-4000/35.

## 5 Выбор и проверка питающих линий ГПП

Расчетный ток линии будет равен номинальному току трансформатора, т.е.

$$I_p = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 65,98 \text{ А.} \quad (42)$$

Выбор сечения линии, питающей ГПП, производится с помощью экономической плотности тока.

Для определения экономической плотности тока необходимо знать время использования максимума нагрузки, которое определяется с помощью годового графика нагрузки по продолжительности.

Суточный график нагрузки для завода по производству источников света представлен на рисунке 3.

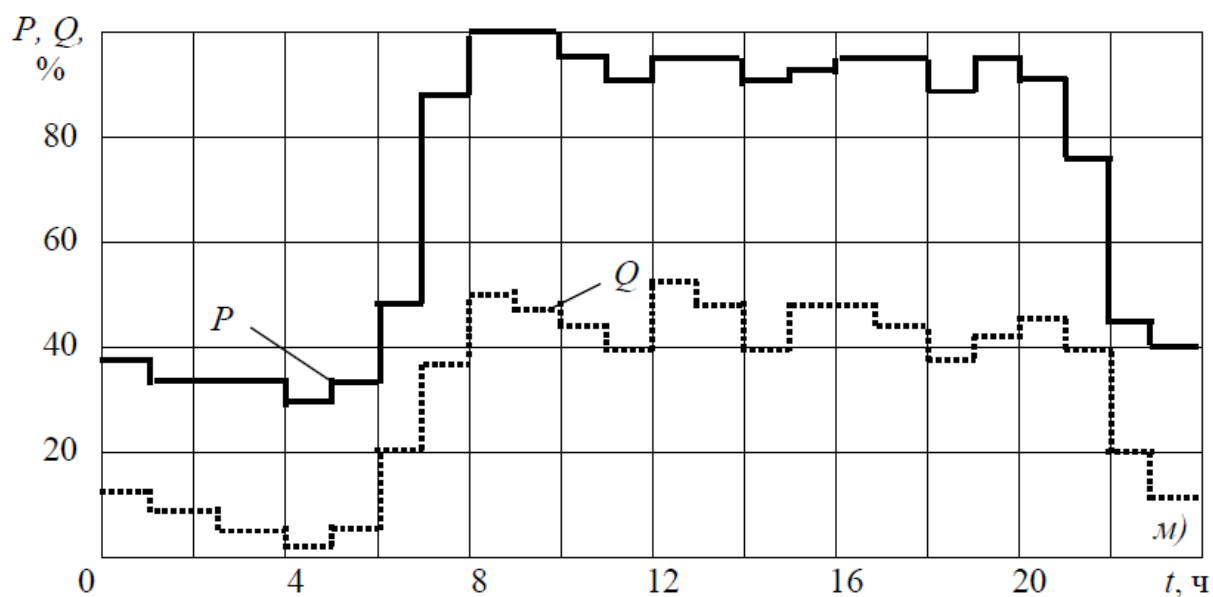


Рисунок 3 – Суточный график нагрузки завода по производству источников света

На основании суточного графика был построен годового график нагрузки по продолжительности, показанный на рисунке 4.

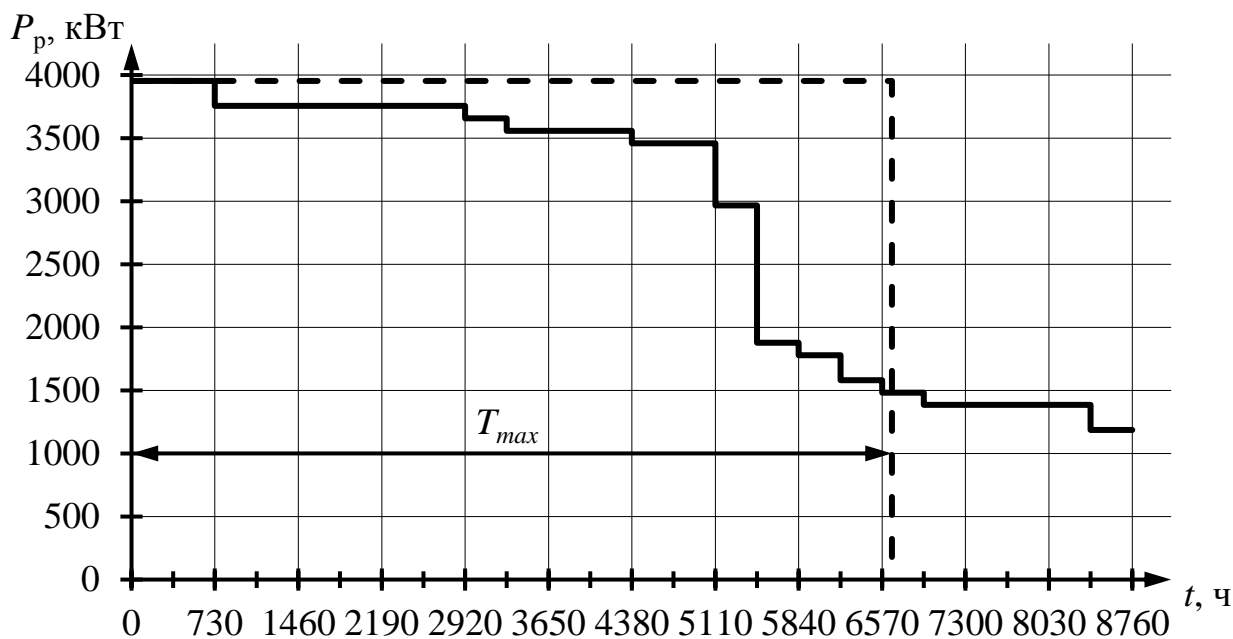


Рисунок 4 – Годовой график нагрузки по продолжительности

Число часов использования максимума нагрузки рассчитывается по формуле:

$$T_{\max} = \frac{\sum_i P_i \cdot t_i}{P_p} = \frac{24853580}{3953} = 6656 \text{ ч.} \quad (43)$$

Экономическая плотность тока выбирается по таблице 6.1 [2]:

$$j_{\text{эк}} = 1 \text{ А/мм}^2. \quad (44)$$

Сечение линии, проектируемой ВЛ находится по формуле:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{65,98}{1} = 65,98 \text{ мм}^2. \quad (45)$$

Расчетное сечение округляется до ближайшего стандартного. Таким образом, питание ГПП будет осуществляться проводом АС 70/11.

Выбранное сечение необходимо проверить по ряду показателей.

Проверка по допустимой токовой нагрузке и по перегрузочной способности.

Допустимый ток для провода АС 70/11  $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}$ .

Ток послеаварийного режима рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{п.а.}} = 1,4 \cdot I_p = 1,4 \cdot 65,98 = 92,37 \text{ А.} \quad (46)$$

Таким образом,

$$I_p = 65,98 \text{ А} \leq I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}, \quad (47)$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 344,5 \text{ А} \geq I_{\text{п.а.}} = 92,37 \text{ А}. \quad (48)$$

Выбранный провод проходит проверку по допустимой токовой нагрузке и по перегрузочной способности.

По условию механической прочности минимальное сечение сталеалюминевых проводов должно быть не меньше  $25 \text{ мм}^2$  [3], т.е.

$$F = 70 \text{ мм}^2 \geq F_{\text{мех}} = 25 \text{ мм}^2. \quad (49)$$

Проверка по допустимой потере напряжения.

Допустимая длина линии в нормальном режиме:

$$L_{\text{доп}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3 = 1,65 \cdot 5 \cdot \frac{265}{65,98} = 33,14 \text{ км}, \quad (50)$$

где  $l_{\Delta U 1\%}$  – длина линии при полной нагрузке на 1% потери напряжения, км (таблица 5.2) [1];

$\Delta U_{\text{доп}\%}$  – допустимая потеря напряжения, %;

$k_3 = \frac{I_{\text{доп}}}{I_p}$  – коэффициент загрузки линии.

Допустимая длина линии в послеаварийном режиме:

$$L_{\text{доп}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3 = 1,65 \cdot 10 \cdot \frac{1,4 \cdot 265}{65,98} = 92,78 \text{ км}. \quad (51)$$

Таким образом,

$$L_{\text{доп}} = 33,14 \text{ км} > L = 7,5 \text{ км}; \quad (52)$$

$$L_{\text{доп.п/ав}} = 92,78 \text{ км} > L = 7,5 \text{ км}.$$

Провод марки АС 70/11 проходит проверку по допустимой потере напряжения.

Проверка по условию коронирования проводов для напряжения 35 кВ не производится [3].



6 Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

В качестве цеховых трансформаторных подстанций будут использоваться комплексные трансформаторные подстанции.

Предварительный выбор номинальной мощности цеховых трансформаторов производится по удельной плотности нагрузки, рассчитываемой по формуле:

$$\sigma = \frac{S_{\text{р.н.}}}{\Sigma F_{\text{ц}}} = \frac{3405,08}{33999,93} = 0,1 \text{ кВА/м}^2, \quad (53)$$

где  $S_{\text{р.н.}}$  – суммарная расчетная мощность предприятия напряжением до 1000 В, кВА;

$\Sigma F_{\text{ц}}$  – суммарная площадь цехов, м<sup>2</sup>.

Согласно таблице 5.1 [2], рекомендуемая мощность трансформаторов:

$$S_{\text{ном.тр}} = 630 \text{ кВА}. \quad (54)$$

Каталожные данные трансформатора ТМ-630/10 приведены в таблице 6 [4].

Таблица 6 – Каталожные данные трансформатора ТМ-630/10

$S_{\text{ном}}$ , кВА	$U_{\text{ВН}}$ , кВ	$U_{\text{НН}}$ , кВ	$\Delta P_{\text{х}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{к}}$ , кВт	$u_{\text{к}}$ , %	$I_{\text{х}}$ , %
630	10	0,4	2	7,3	5,5	1,5

Минимально возможное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{\text{min}} = \frac{P_{\text{р.н.}}}{\beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{2755,46}{0,75 \cdot 630} = 6. \quad (55)$$

Так как  $Q_{\text{р}\Sigma} = 1990,28 \text{ кВар} > Q_{\text{с}} = 875,86 \text{ кВар}$ , то для компенсации реактивной мощности дополнительно используются батареи статических конденсаторов (БСК) и синхронные двигатели, установленные в компрессорной.

Наибольшая реактивная мощность, которая может быть передана через трансформаторы из сети 10 кВ в сеть 0,4 кВ без увеличения числа трансформаторов рассчитывается по формуле:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{\min} \cdot \beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр.}})^2 - P_{\text{р.н.}}^2} =$$

$$= \sqrt{(6 \cdot 0,75 \cdot 630)^2 - 2755,46^2} = 666,83 \text{ кВар.} \quad (56)$$

Реактивная мощность, которую можно получить от синхронных двигателей в режиме номинальной загрузки:

$$Q_{\text{СД}} = 2 \cdot \frac{\alpha_{\text{м}} \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} = 2 \cdot \frac{1,34 \cdot 630 \cdot 0,48}{0,956} = 847,73 \text{ кВар,} \quad (57)$$

где  $\alpha_{\text{м}}$  – коэффициент наибольшей допустимой перегрузки СД по реактивной мощности в зависимости от напряжения и коэффициента загрузки по активной мощности (таблица 5.7) [2].

Баланс реактивной мощности в узле А:

$$Q_{\text{с}} + Q_{\text{СД}} = 875,86 + 847,73 = 1723,59 \text{ кВар} > Q_1 = 666,83 \text{ кВар.} \quad (58)$$

Неравенство (58) показывает, что есть несколько вариантов установки БСК. Необходимо провести сравнительный анализ затрат различных вариантов.

Вариант №1 – установка БСК на сторону НН 0,4 кВ.

Необходимая мощность БСК:

$$Q_{\text{БК.НН}} = Q_{\text{р.н.}} - Q_1 = 1990,28 - 666,83 = 1323,45 \text{ кВар.} \quad (59)$$

Исходя из (59), выбирается БСК марки УКБН-0,38-100-50У3 в количестве 13 штук.

Затраты на низковольтные БСК:

$$Z_{\text{БК.НН.0}} = 0, \quad (60)$$

т.к. установка дополнительных ячеек не требуется.

$$Z_{\text{БК.НН.1}} = E \cdot K_y \cdot \left( \frac{\dot{U}_{\text{БК}}}{\dot{U}} \right)^2 + C_0 \cdot \Delta P_{\text{БК}} =$$

$$= 0,223 \cdot 10,5 \cdot \left( \frac{1}{1} \right)^2 + 85 \cdot 0,0045 = 2,724 \text{ у.е./кВар,} \quad (61)$$

где  $E$  – суммарные ежегодные отчисления от капитальных вложений;

$K_y$  – удельная стоимость установки БК;

$\dot{U}_{\text{БК}}$  – отношение номинального напряжения конденсаторов к номинальному напряжению сети;

$\dot{U}$  – относительная величина напряжения сети в месте присоединения БК;

$C_0$  – удельная стоимость потерь активной мощности (таблица 5.2) [2];

$\Delta P_{\text{БК}}$  – удельные потери активной мощности в БК.

$$Z_{\text{БК.НН.2}} = 0. \quad (62)$$

Суммарные приведенные затраты на БСК на стороне НН:

$$\begin{aligned} Z_{\text{БК.НН}} &= Z_{\text{БК.НН.0}} + Z_{\text{БК.НН.1}} \cdot Q_{\text{БСК}} + Z_{\text{БК.НН.2}} \cdot Q_{\text{БСК}}^2 = \\ &= 0 + 2,724 \cdot 1300 + 0 \cdot 1300^2 = 3541,2 \text{ у.е.} \end{aligned} \quad (63)$$

Суммарные приведенные затраты на СД:

$$Z_{\text{СД}} = 0, \quad (64)$$

т.к. через трансформатор течет только та реактивная мощность, которая берется из сети.

Суммарные затраты на вариант №1:

$$Z_{\text{вар.1}} = Z_{\text{БК.НН}} = 3541,2 \text{ у.е.} \quad (65)$$

Вариант №2 – увеличение количества цеховых трансформаторов на 1 и установка БСК на ВН 10 кВ.

Так как количество трансформаторов увеличилось, изменилась реактивная мощность, которая может быть передана в сеть 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} Q'_1 &= \sqrt{(N_{\text{min}} \cdot \beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр.}})^2 - P_{\text{р.н.}}^2} = \\ &= \sqrt{(7 \cdot 0,75 \cdot 630)^2 - 2755,46^2} = 1829,48 \text{ кВар.} \end{aligned} \quad (66)$$

Баланс реактивной мощности в узле А:

$$Q_c + Q_{\text{СД}} = 875,86 + 847,73 = 1723,59 \text{ кВар} < Q'_1 = 1829,48 \text{ кВар.} \quad (67)$$

Неравенство (67) показывает, что дальнейший расчет данного варианта нецелесообразен, т.к. установить БСК на 10 кВ с установкой одного

дополнительного трансформатора невозможно, а установка двух трансформаторов является заведомо более дорогим вариантом.

Таким образом, к установке принимается первый вариант, баланс реактивной мощности для данного варианта изображен на рисунке 5.

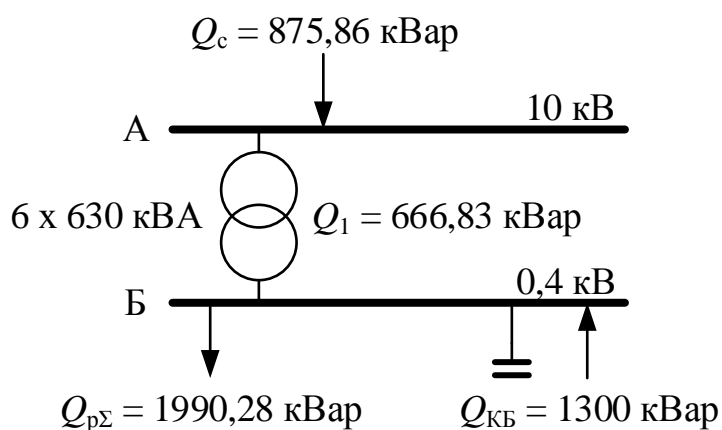


Рисунок 5 – Баланс реактивной мощности при установке БСК на стороне 0,4 кВ

Выбор расположения цеховых трансформаторных подстанций производится исходя из мощностей цехов, их категории надежности электроснабжения. Результат распределения приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Распределение трансформаторов по территории предприятия

Наименование ПС	Кол-во трансформаторов	Расположение	Питаемые цеха
КТП-1	2x630	Цокольный цех	1, 2, 3, 12
КТП-2	2x630	Компрессорная	4, 5, 6, 7, 14
КТП-3	2x630	Электрокарная	8, 9, 10, 11, 13, 15, 16

Распределение БСК по КТП и фактическая загрузка трансформаторов представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Распределение БСК по КТП и фактическая загрузка трансформаторов

Наименование ПС	Количество устанавливаемых БСК	Поток мощности с установленными БСК	Полная мощность, кВА	Загрузка
КТП-1	4x100	250,66	961,81	0,76
КТП-2	4x100	276,52	918,59	0,73
КТП-3	5x100	163,11	964,79	0,77

Расположение цеховых ТП представлено на рисунке 6.

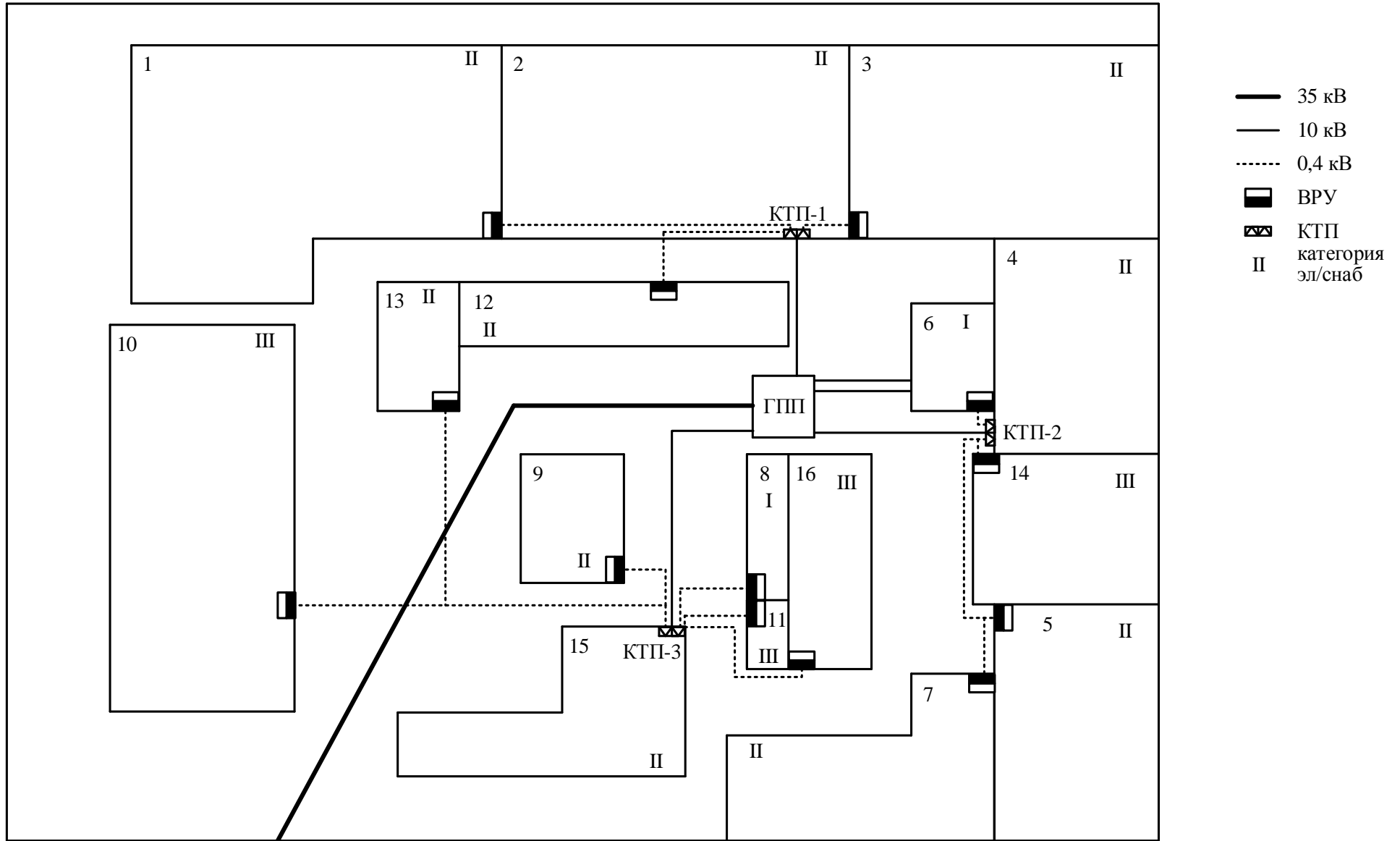


Рисунок 6 – Размещение цеховых трансформаторных подстанций

## 7 Выбор и проверка внутризаводских линий

Подробный выбор и проверка производится на примере КЛ1 ГПП – КТП-1.

Расчетный ток линии в нормальном режиме:

$$I_p = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}}{n_{\text{лин}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 630}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 36,37 \text{ А.} \quad (68)$$

Выбор сечения производится по экономической плотности тока, используя следующее выражение:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{36,37}{1,2} = 30,3 \text{ мм}^2, \quad (69)$$

где  $j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока, принятая для кабеля с бумажной изоляцией с  $T_{\text{мах}} = 6656 \text{ ч}$ , А/мм<sup>2</sup>.

Округляя до ближайшего стандартного, принимается сечение  $F = 35 \text{ мм}^2$ . Таким образом, предварительно намечается кабель – 2ААШв-3х35.

Допустимый длительный ток выбранного кабеля (таблица 1.3.16) [3]:

$$I_{\text{доп}} = 115 \text{ А.} \quad (70)$$

Проверка по тепловому нагреву с учетом поправочных коэффициентов на условия прокладки:

$$I_{\text{доп}} = 115 \text{ А} \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2} = \frac{36,37}{1 \cdot 0,93} = 39,11 \text{ А,} \quad (71)$$

где  $K_1, K_2$  – поправочные коэффициенты, определяемые по таблицам ПУЭ 1.3.3, 1.3.26.

КЛ1 может работать в послеаварийном режиме, следовательно, производится проверка и для режима с перегрузкой:

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,2 \cdot 115 = 138 \text{ А} \geq \frac{I_{\text{п.ав}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{1,4 \cdot 36,37}{1 \cdot 0,93} = 54,75 \text{ А,} \quad (72)$$

где  $K_{пер}$  – коэффициент перегрузки КЛ в послеаварийном режиме (таблица 1.3.2) [3].

Дальнейшая проверка КЛ по термической стойкости выполняется в последующих разделах.

Выбор и проверка оставшихся КЛ сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Данные по внутризаводским КЛ

	КЛ1	КЛ2	КЛ3	КЛ4, КЛ5
Соединение	ГПП – КТП-1	ГПП – КТП-2	ГПП – КТП-3	ГПП – СД
$I_p, A$	36,37	36,37	36,37	42,44
$F, мм^2$	35	35	35	35
$I_{доп}, A$	115	115	115	115
$\frac{I_p}{K_1 \cdot K_2}, A$	39,11	41,81	39,11	48,78
$K_{пер} \cdot I_{доп}, A$	138	138	138	138
$\frac{I_{п.ав}}{K_1 \cdot K_2}, A$	54,75	58,53	54,75	65,29
ИТОГ	2ААШВ 3х35	2ААШВ 3х35	2ААШВ 3х35	ААШВ 3х35



## 8 Расчет потерь в КТП и внутризаводских линиях

### 8.1 Потери мощности в КТП

Суммарные потери мощности в трансформаторе состоят из потерь холостого хода и нагрузочных потерь, зависящих от фактической нагрузки трансформатора.

Потери активной мощности в цеховых трансформаторах на КТП-1:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_x + n \cdot \Delta P_k \cdot \beta^2 = 2 \cdot 2 + 2 \cdot 7,3 \cdot 0,76^2 = 12,43 \text{ кВт}, \quad (73)$$

где  $n$  – количество трансформаторов на КТП;

$\Delta P_x$  – потери холостого хода (потери в стали) цехового трансформатора, кВт;

$\Delta P_k$  – потери в обмотках (потери в меди) при номинальной нагрузке цехового трансформатора, кВт;

$\beta$  – фактическая загрузка трансформаторов на КТП.

Потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах на КТП-1:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{тр}} &= n \cdot \Delta Q_x + n \cdot \Delta Q_k \cdot \beta^2 = n \cdot \frac{S_{\text{ном.тр}} \cdot I_x}{100} + n \cdot \frac{S_{\text{ном.тр}} \cdot u_k}{100} \cdot \beta^2 = \\ &= 2 \cdot \frac{630 \cdot 1,5}{100} + 2 \cdot \frac{630 \cdot 5,5}{100} \cdot 0,76^2 = 58,93 \text{ кВар}, \end{aligned} \quad (74)$$

где  $I_x$ ,  $u_k$  – ток холостого хода и напряжение короткого замыкания, %.

Расчет потерь в цеховых трансформаторах для оставшихся КТП произведен аналогично, результат расчета сведен в таблицу 10.

Таблица 10 – Потери мощности в КТП

Наименование КТП	$\Delta P_{\text{тр}}$ , кВт	$\Delta Q_{\text{тр}}$ , кВар
КТП-1	12,43	58,93
КТП-2	11,78	55,83
КТП-3	12,66	59,99

## 8.2 Потери мощности в кабельных линиях

Для линий электропередач внутризаводского электроснабжения потери в поперечной ветви схемы замещения (потери холостого хода) не учитываются в виду их малости.

Расчет потерь производится на примере КЛ ГПП – КТП-1.

Потери активной мощности в КЛ рассчитываются по следующей формуле:

$$\Delta P_{\text{КЛ}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \cdot 10^{-3} = \frac{928,58^2 + 650,66^2}{10^2} \cdot 0,07 \cdot 10^{-3} = 0,9 \text{ кВт}, \quad (75)$$

где  $R = r_0 \cdot l$  – активное сопротивление КЛ, Ом.

Потери реактивной мощности в КЛ рассчитываются по следующей формуле:

$$\Delta Q_{\text{КЛ}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X \cdot 10^{-3} = \frac{928,58^2 + 650,66^2}{10^2} \cdot 0,006 \cdot 10^{-3} = 0,08 \text{ кВар}, \quad (76)$$

где  $X = x_0 \cdot l$  – реактивное сопротивление КЛ, Ом.

Расчет потерь мощности оставшихся кабельных линий сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Потери мощности в КЛ

Наименование КЛ	$\Delta P_{\text{КЛ}}$ , кВт	$\Delta Q_{\text{КЛ}}$ , кВар
КЛ1	0,90	0,08
КЛ2	1,01	0,09
КЛ3	1,89	0,17
КЛ4	0,66	0
КЛ5	0,66	0

## 8.3 Потери энергии в КТП

Время наибольших потерь для предприятия:

$$\tau_{\text{max}} = (0,124 + T_{\text{max}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 6656 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 5462 \text{ ч}, \quad (77)$$

где  $T_{\text{max}}$  – время использования максимума нагрузки, ч.

Потери холостого хода в трансформаторах КТП рассчитываются по формуле:

$$\Delta W_{xx} = \Delta P_x \cdot T_p \cdot n = 2 \cdot 8760 \cdot 2 = 35040 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (78)$$

где  $T_p$  – время работы трансформатора, ч.

Нагрузочные потери трансформаторов КТП-1:

$$\Delta W_{нагр} = \Delta P_k \cdot n \cdot \beta^2 \cdot \tau_{max} = 7,3 \cdot 2 \cdot 0,76^2 \cdot 5462 = 46061 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (79)$$

Потери энергии в трансформаторах КТП-1:

$$\Delta W = \Delta W_{xx} + \Delta W_{нагр} = 35040 + 46061 = 81101 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (80)$$

Расчет потерь энергии в трансформаторах остальных КТП производится аналогично. Результаты расчета представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Потери энергии в трансформаторах КТП

Наименование КТП	$\Delta W_{xx}$ , кВт·ч	$\Delta W_{нагр}$ , кВт·ч	$\Delta W$ , кВт·ч
КТП-1	35040	46061	81101
КТП-2	35040	42496	77536
КТП-3	35040	47281	82321

#### 8.4 Потери энергии в кабельных линиях

Потери энергии в КЛ ГПП – КТП-1:

$$\Delta W = \Delta P_{КЛ} \cdot \tau_{max} = 0,9 \cdot 5462 = 4915,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (81)$$

Потери энергии в остальных кабельных линиях рассчитываются аналогично. Результат расчета представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Потери энергии в кабельных линиях

Наименование КЛ	$\Delta W$ , кВт·ч
КЛ1	4915,80
КЛ2	5516,62
КЛ3	10323,18
КЛ4	3604,92
КЛ5	3604,92

## 9 Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутривольских линий по токам КЗ

### 9.1 Расчет сопротивлений элементов сети

На рисунке 7 представлена однолинейная схема высоковольтной сети для расчета КЗ.

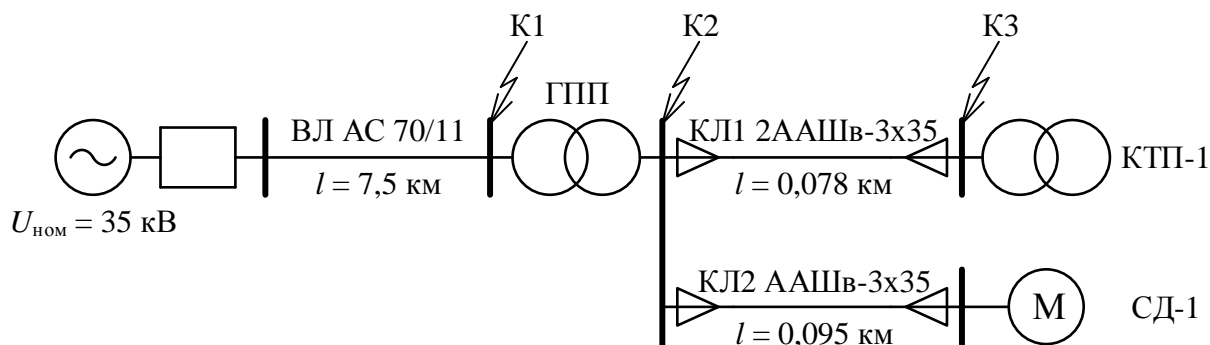


Рисунок 7 – Однолинейная схема высоковольтной сети предприятия

Для расчета токов КЗ необходимо провести предварительный расчет сопротивлений.

Расчет ведется в относительных единицах, принимая базисную мощность  $S_6 = 100$  МВА.

Активное сопротивление ВЛ рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{ВЛ}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{\text{ср.ном}}^2} = \frac{0,46 \cdot 7,5 \cdot 100}{37^2} = 0,25, \quad (82)$$

где  $r_0$  – погонное активное сопротивление, Ом/км [2];

$l$  – длина воздушной линии, км;

$U_{\text{ср.ном}}$  – средненоминальное напряжение, кВ.

Индуктивное сопротивление ВЛ:

$$X_{\text{ВЛ}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{\text{ср.ном}}^2} = \frac{0,382 \cdot 7,5 \cdot 100}{37^2} = 0,21, \quad (83)$$

где  $x_0$  – погонное индуктивное сопротивление воздушной линии, Ом/км.

Активное сопротивление трансформатора ГПП:

$$R_{\text{тр}} = \frac{I_{\text{xx}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{0,9}{100} \cdot \frac{100}{4} = 0,23. \quad (84)$$

Индуктивное сопротивление трансформатора ГПП:

$$X_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{кз}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{4} = 1,88. \quad (85)$$

Активное сопротивления кабельных линий:

$$R_{\text{КЛ1}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2} = \frac{0,894 \cdot 0,078 \cdot 100}{10,5^2} = 0,063; \quad (86)$$

$$R_{\text{КЛ2}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2} = \frac{0,894 \cdot 0,095 \cdot 100}{10,5^2} = 0,077. \quad (87)$$

Индуктивное сопротивление кабельных линий:

$$X_{\text{КЛ1}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2} = \frac{0,08 \cdot 0,078 \cdot 100}{10,5^2} = 0,006; \quad (88)$$

$$X_{\text{КЛ2}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\text{б}}}{U_{\text{ср.ном}}^2} = \frac{0,08 \cdot 0,095 \cdot 100}{10,5^2} = 0,007. \quad (89)$$

Сопротивление системы рассчитывается по формуле:

$$x_{\text{сист}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}} \cdot I_{\text{откл.ном}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37 \cdot 12,5} = 0,125, \quad (90)$$

где  $I_{\text{откл.ном}}$  – отключающая способность выключателя, кА.

На рисунке 8 представлена схема замещения для расчета токов КЗ.

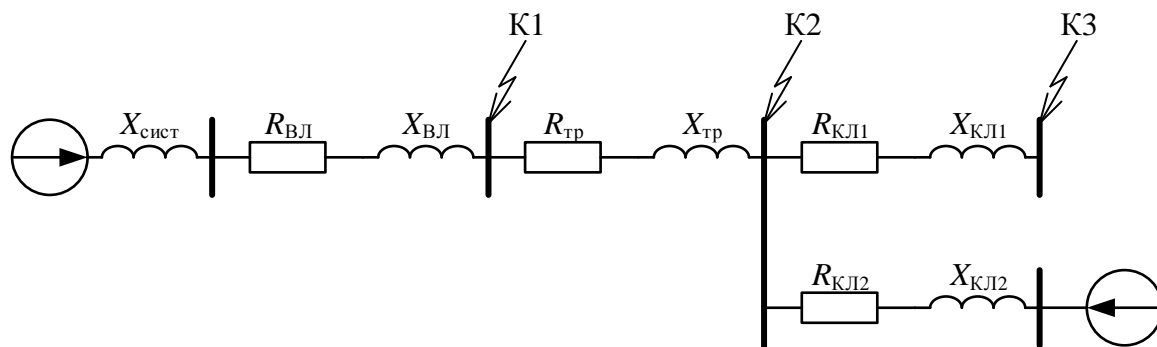


Рисунок 8 – Схема замещения внутризаводского электроснабжения для расчета токов КЗ

## 9.2 Расчет токов КЗ

Расчет токов КЗ рассмотрим на примере точки К2.

Базисный ток КЗ:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.} \quad (91)$$

Суммарное сопротивление до точки КЗ:

$$\begin{aligned} Z_{\text{рез}} &= \sqrt{(X_{\text{сист}} + X_{\text{ВЛ}} + X_{\text{тр}})^2 + (R_{\text{ВЛ}} + R_{\text{тр}})^2} = \\ &= \sqrt{(0,125 + 0,21 + 1,88)^2 + (0,25 + 0,23)^2} = 2,266. \end{aligned} \quad (92)$$

Ток трехфазного КЗ от системы:

$$I_{\text{К2.сист}}^{(3)} = \frac{I_6}{Z_{\text{рез}}} = \frac{5,5}{2,226} = 2,47 \text{ кА.} \quad (93)$$

Ударный ток КЗ от системы рассчитывается по формуле:

$$i_{\text{уд.сист}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{К2.сист}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,43 \cdot 2,47 = 5 \text{ кА,} \quad (94)$$

где  $k_{\text{уд}}$  – ударный коэффициент, определяемый исходя из соотношения  $X / R$ .

Также необходимо учесть подпитку от синхронных двигателей. ЭДС и индуктивное сопротивление принимается равным  $E'' = 1,1$  и  $x_d'' = 0,2$ .

Номинальный ток СД:

$$I_{\text{СД.ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,956 \cdot 0,9} = 42,27 \text{ А.} \quad (95)$$

Ток КЗ от синхронных двигателей:

$$I_{\text{К2.СД}}^{(3)} = \frac{E'' \cdot I_{\text{СД.ном}}}{\sqrt{(x_d'' + X_{\text{вн}})^2 + R_{\text{вн}}^2}} = \frac{1,1 \cdot 0,04227}{\sqrt{(0,2 + 0,007)^2 + 0,077^2}} = 0,21 \text{ кА,} \quad (96)$$

где  $X_{\text{вн}}$  – индуктивное сопротивление от синхронного двигателя до точки КЗ, Ом;

$R_{\text{вн}}$  – активное сопротивление от синхронного двигателя до точки КЗ, Ом.

Ударный ток КЗ от синхронных двигателей:

$$i_{уд.СД} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{К2.СД}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,21 = 0,3 \text{ кА.} \quad (97)$$

Суммарный ток КЗ:

$$I_{К2}^{(3)} = I_{К2.сист}^{(3)} + 2 \cdot I_{К2.СД}^{(3)} = 2,47 + 2 \cdot 0,21 = 2,89 \text{ кА.} \quad (98)$$

Суммарный ударный ток КЗ:

$$i_{уд.К2} = i_{уд.сист} + 2 \cdot i_{уд.СД} = 5 + 2 \cdot 0,3 = 5,6 \text{ кА.} \quad (99)$$

Расчет токов КЗ для остальных точек проводится аналогично.

Результаты расчета представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Сводная ведомость токов КЗ

Точки		К1	К2	К3
Токи КЗ, кА	$I_K^{(3)}$	3,73	2,89	2,77
	$i_{уд}$	5,70	5,60	5,38

### 9.3 Проверка кабельных линий по токам КЗ

Тепловой импульс КЗ рассчитывается по формуле:

$$B_k = (I_K^{(3)})^2 \cdot (t_{пр} + T_a) = 2,77^2 \cdot (0,16 + 0,05) = 1,61 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} \quad (100)$$

Выбранное сечение должно удовлетворять условию:

$$F = 35 \text{ мм}^2 \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{1610}{90} = 18 \text{ мм}^2, \quad (101)$$

где  $C_T$  – коэффициент, определяемый по таблице 6.2,  $\text{А}^2 \cdot \text{с} / \text{мм}^2$  [2].

Таким образом, КЛ, по которой протекают наибольшие токи КЗ, проходит проверку по термической стойкости, следовательно, оставшиеся линии пройдут данную проверку.

## 10 Выбор и проверка высоковольтного оборудования

### 10.1 Выбор и проверка оборудования открытого распределительного устройства высокого напряжения главной понижающей подстанции

На рисунке 9 представлена структурная схема ОРУ ВН ГПП.

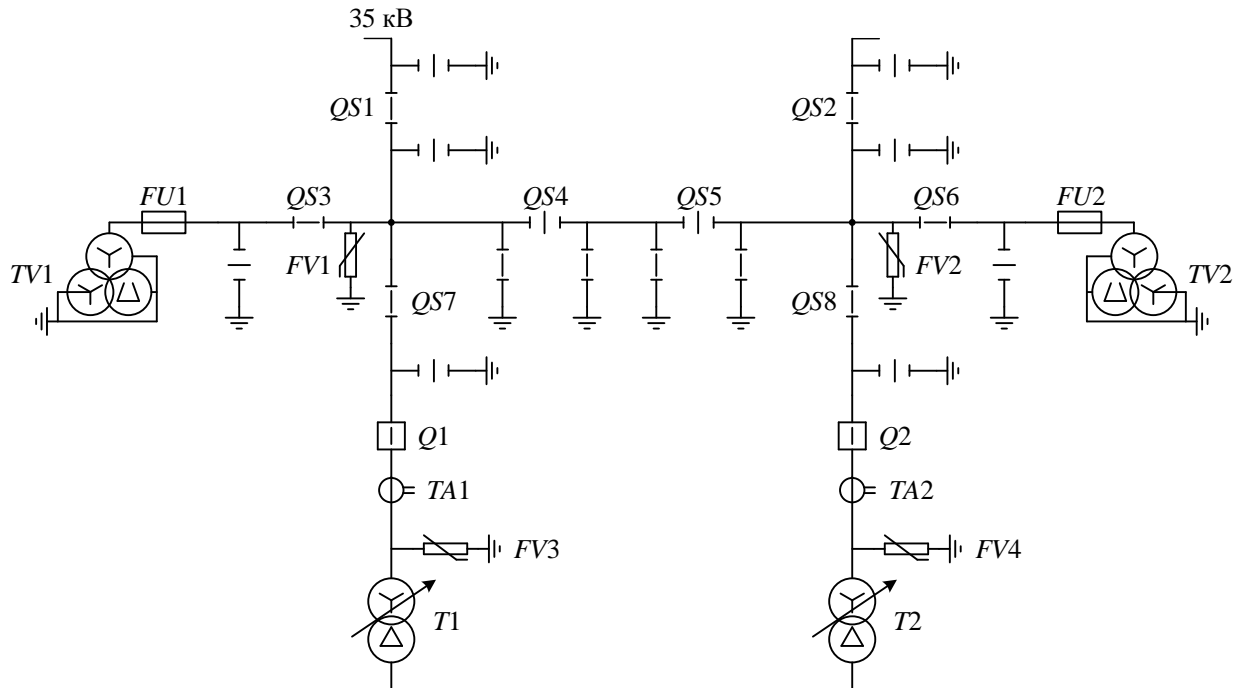


Рисунок 9 – Структурная схема ОРУ ВН ГПП

На стороне ВН ГПП в качестве выключателей  $Q1$  и  $Q2$  к установке принимаются элегазовые высоковольтные выключатели.

Первичный выбор аппарата осуществляется по напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ВН.ГПП}} = 35 \text{ кВ}, \quad (102)$$

длительному току

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р}} = 65,98 \text{ А} \quad (103)$$

и отключающей способности

$$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{К1}}^{(3)} = 3,73 \text{ кА}. \quad (104)$$

Условиям (106), (107), (108) удовлетворяет элегазовый баковый выключатель наружной установки ВГБ-35-12,5/630А УХЛ1, каталожные параметры которого представлены в таблице 15 [4].



Таблица 15 – Каталожные данные выключателя ВГБ-35-12,5/630А УХЛ1

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{откл.ном}}, \text{кА}$	$i_{\text{дин}}, \text{кА}$	$I_{\text{терм}}, \text{кА}$	$t_{\text{собств}}, \text{с}$	$t_{\text{откл}}, \text{с}$
35	630	12,5	35	12,5 (3с)	0,04	0,06

Выбранный выключатель необходимо проверить.

Проверка по динамической стойкости:

$$i_{\text{дин}} = 35 \text{ кА} > i_{\text{уд.к1}} = 5,7 \text{ кА.} \quad (105)$$

Тепловой импульс КЗ рассчитывается по формуле:

$$B_k = (I_{\text{к1}}^{(3)})^2 \cdot (t_{\text{пр}} + T_a) = 3,73^2 \cdot (0,16 + 0,01) = 2,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (106)$$

где  $t_{\text{пр}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{откл}}$  – приведенное время отключения тока КЗ;

$T_a$  – постоянная времени цепи КЗ (таблица 8.1) [2].

Проверка по термической стойкости:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 2,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (107)$$

Разъединители QS1 и QS2 выбираются по напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{вн.гпп}} = 35 \text{ кВ}, \quad (108)$$

длительному току, который для данных разъединителей, вследствие особенности схемы, равен току послеаварийного режима,

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{п.ав}} = 92,37 \text{ А} \quad (109)$$

и количеству заземляющих ножей – 2.

Приведенным выше условиям удовлетворяет двухколонковый горизонтальный разъединитель наружной установки РНД3.2-35/1000 У1, каталожные параметры которого представлены в таблице 16 [4].

Таблица 16 – Каталожные данные разъединителя РНД3.2-35/1000 У1

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$i_{\text{пр.скв}}, \text{кА}$	$I_{\text{терм}}, \text{кА}$	$t_{\text{терм}}, \text{с}$
35	1000	63	25	4

Выбранный разъединитель необходимо проверить.

Проверка по динамической стойкости:

$$i_{\text{пр.скв}} = 63 \text{ кА} > i_{\text{уд.к1}} = 5,7 \text{ кА.} \quad (110)$$

Тепловой импульс КЗ рассчитывается по формуле:

$$B_k = (I_{K1}^{(3)})^2 \cdot (t_{пр} + T_a) = 3,73^2 \cdot (0,16 + 0,01) = 2,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (111)$$

Проверка по термической стойкости:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 2,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (112)$$

Разъединители QS3 – QS8 выбираются по напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ВН.ГПП}} = 35 \text{ кВ}, \quad (113)$$

длительному току

$$I_{\text{ном}} \geq I_p = 65,98 \text{ А} \quad (114)$$

и количеству заземляющих ножей – 2 ножа для разъединителей QS4 и QS5, 1 нож для всех остальных.

Для разъединителей QS4 и QS5 подходит уже выбранный двухколонковый горизонтальный разъединитель наружной установки РНДЗ.2-35/1000 У1.

Приведенным выше условиям удовлетворяет двухколонковый горизонтальный разъединитель наружной установки РНДЗ.1-35/1000 У1, каталожные параметры которого представлены в таблице 17 [4].

Таблица 17 – Каталожные данные разъединителя РНДЗ.1-35/1000 У1

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$i_{\text{пр.скв}}, \text{кА}$	$I_{\text{терм}}, \text{кА}$	$t_{\text{терм}}, \text{с}$
35	1000	63	25	4

Выбранный разъединитель необходимо проверить.

Проверка по динамической стойкости:

$$i_{\text{пр.скв}} = 63 \text{ кА} > i_{\text{уд.К1}} = 5,7 \text{ кА}. \quad (115)$$

Тепловой импульс КЗ рассчитывается по формуле:

$$B_k = (I_{K1}^{(3)})^2 \cdot (t_{пр} + T_a) = 3,73^2 \cdot (0,16 + 0,01) = 2,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (116)$$

Проверка по термической стойкости:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 2,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (117)$$

Высоковольтные предохранители  $FU1$  и  $FU2$  выбираются по рабочему напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ВН.ГПП}} = 35 \text{ кВ.} \quad (118)$$

Так как данные предохранители предназначены для защиты измерительных трансформаторов напряжения, то к установке принимаются высоковольтные выключатели ПКН (П – предохранитель, К – с кварцевым наполнением, Н – для защиты трансформаторов напряжения).

Таким образом, выбирается высоковольтный предохранитель ПКН001-35 У1.

Выбор ограничителей перенапряжения  $FV1-FV4$  производится по методике, описанной в таблице 2.5 [5].

Для защиты трансформаторной нагрузки и другого электрооборудования в воздушных распределительных сетях напряжением 35 кВ от грозových и коммутационных перенапряжений применяется ограничитель ОПН-П1-35/40,5/10/2 УХЛ1.

Трансформаторы тока  $TA1$  и  $TA2$  встроены в выключатели ВГБ-35-12,5/630 УХЛ1. Каждый трансформатор тока рассчитан на весь диапазон первичных номинальных токов и имеет два сердечника и две обмотки для целей защиты и измерений.

Трансформаторы напряжения  $TV1$  и  $TV2$  выбираются по рабочему напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ВН.ГПП}} = 35 \text{ кВ,} \quad (119)$$

месту установки и количеству вторичных обмоток.

К установке принимаются негерметичные антирезонансные трансформаторы напряжения НАМИ-35-0,5-УХЛ1. Данный трансформатор имеет первичную обмотку и две вторичные обмотки. Вторичная основная – для цепей измерения и защиты, вторичная дополнительная – для контроля изоляции сети.

Выбранное высоковольтное оборудование для ОРУ ВН ГПП сведено в таблицу 18.

Таблица 18 – Высоковольтное оборудование ОРУ ВН ГПП

Обозначение	Наименование	Тип
$FU1, FU2$	Предохранители	ПКН001-35 У1
$FV1...FV4$	ОПН	ОПН-П1-35/40,5/10/2 УХЛ1
$Q1, Q2$	Выключатели элегазовые	ВГБ-35-12,5/630А УХЛ1
$QS1, QS2, QS4, QS5$	Разъединители	РНД3.2-35/1000 У1
$QS3, QS6...QS8$	Разъединители	РНД3.1-35/1000 У1
$TA1, TA2$	Трансформаторы тока	Встроены в выключатели
$TV1, TV2$	Трансформаторы напряжения	НАМИ-35-0,5-УХЛ1

10.2 Выбор и проверка комплектного распределительного устройства низкого напряжения главной понижающей подстанции

На рисунке 10 представлена структурная схема РУ НН ГПП.

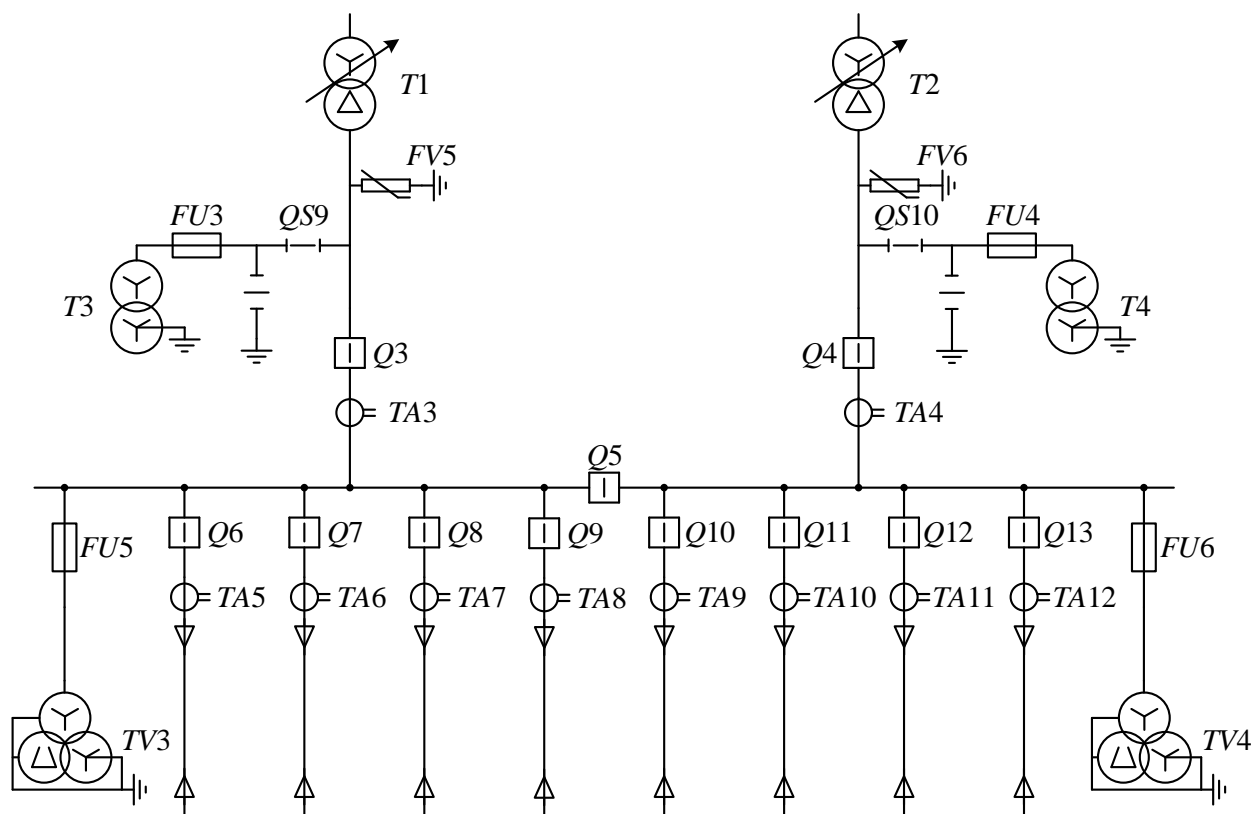


Рисунок 10 – Структурная схема РУ НН ГПП

К установке принимается комплектное распределительное устройство наружной установки, которое выбирается по рабочему напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{НН.ГПП}} = 10 \text{ кВ}, \quad (120)$$

рабочему току

$$I_{\text{ном}} \geq I_p = 1,4 \cdot I_{\text{ном.тр.НН}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН.тр}}} = 1,4 \cdot \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 323,32 \text{ А}. \quad (121)$$

Условиям (124), (125) удовлетворяет КРУН КНВ-10.

Комплектное распределительное устройство будет состоять из двух вводных ячеек с вакуумными выключателями, восьми ячеек отходящих КЛ, двух ячеек с трансформаторами напряжения, двух ячеек с трансформаторами собственных нужд, ячейки секционного выключателя.

В качестве выключателей  $Q3$ ,  $Q4$  и  $Q5$  в данном КРУ используются вакуумные выключатели  $BB/TEL-10$  [6]. Необходимо выбрать номинальный рабочий ток выключателя и его номинальный ток отключения.

$$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А} \geq I_p = 323,32 \text{ А}; \quad (122)$$

$$I_{\text{ном.откл}} = 20 \text{ кА} \geq I_{\text{к2}}^{(3)} = 2,89 \text{ кА}. \quad (123)$$

Каталожные данные выключателя  $BB/TEL-10-20/1000$  У2 представлены в таблице 19 [7].

Таблица 19 – Каталожные данные выключателя  $BB/TEL-10-20/1000$  У2

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{откл.ном}}, \text{кА}$	$i_{\text{дин}}, \text{кА}$	$I_{\text{терм}}, \text{кА}$	$t_{\text{собств}}, \text{с}$	$t_{\text{откл}}, \text{с}$
10	1000	20	51	20 (3с)	0,03	0,04

Выбранный выключатель необходимо проверить.

Проверка по динамической стойкости:

$$i_{\text{дин}} = 51 \text{ кА} > i_{\text{уд.к2}} = 5,6 \text{ кА}. \quad (124)$$

Тепловой импульс КЗ рассчитывается по формуле:

$$B_k = (I_{\text{к2}}^{(3)})^2 \cdot (t_{\text{пр}} + T_a) = 2,89^2 \cdot (0,44 + 0,01) = 3,76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (125)$$

Проверка по термической стойкости:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 3,76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (126)$$

Выключатели отходящих кабельных линий Q6-Q13 выбираются по длительному току, который равен номинальному току цеховых трансформаторов на высокой стороне

$$I_{\text{ном}} \geq I_p = I_{\text{ном.цтр.ВН}} = \frac{S_{\text{ном.цтр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН.цтр}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,37 \text{ А}, \quad (127)$$

и по отключающей способности выключателей

$$I_{\text{ном.откл}} \geq I_{\text{К2}}^{(3)} = 2,89 \text{ кА}. \quad (128)$$

Приведенным выше условиям удовлетворяют вакуумные выключатели ВВ/TEL-10-20/1000 У2, принятые для вводных и секционного выключателя.

Данный выключатель необходимо перепроверить на тепловой импульс, т.к. изменяется приведенное время отключения тока КЗ:

$$B_k = (I_{\text{К2}}^{(3)})^2 \cdot (t_{\text{пр}} + T_a) = 2,89^2 \cdot (0,44 + 0,01) = 3,76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (129)$$

Проверка по термической стойкости:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 3,76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \quad (130)$$

В качестве трансформаторов собственных нужд выбранное КРУ допускает использование трансформаторов ТМ.

Выбор трансформаторов собственных нужд производится по расчетной мощности подстанции:

$$S_{\text{с.н.}} \approx 0,05 \cdot S_{\text{ном.гр}} = 0,05 \cdot 4000 = 200 \text{ кВА}. \quad (131)$$

В качестве трансформаторов собственных нужд принимаются трансформаторы ТМ-160-10/0,4 У2.

Высоковольтные предохранители FU3 и FU4 для защиты трансформаторов собственных нужд выбираются по рабочему напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{НН.ГПП}} = 10 \text{ кВ}, \quad (132)$$

длительному току, равному номинальному току ТСН на высокой стороне

$$I_{\text{ном.пр}} \geq I_p = I_{\text{ном.ТСН}} = \frac{S_{\text{ном.ТСН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН.ТСН}}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,24 \text{ А}; \quad (133)$$

$$I_{\text{ном.вст}} \geq I_p = 9,24 \text{ А} \quad (134)$$

и предельному току отключения

$$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{к2}}^{(3)} = 2,89 \text{ кА.} \quad (135)$$

Так как данные предохранители предназначены для защиты трансформаторов собственных нужд, то к установке принимаются высоковольтные выключатели ПКТ (П – предохранитель, К – с кварцевым наполнением, Н – для защиты силовых трансформаторов).

Выбор номинального тока плавкой вставки производится по таблице 8.3 [2]. Так для номинального тока установки 10 А, номинальный ток плавкой вставки – 20 А.

Таким образом, выбирается высоковольтный предохранитель ПКТ 101-10-20-12,5 УЗ.

Высоковольтные предохранители *FU5* и *FU6* выбираются по рабочему напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{нн.гпп}} = 10 \text{ кВ.} \quad (136)$$

Так как данные предохранители предназначены для защиты измерительных трансформаторов напряжения, то к установке принимаются высоковольтные выключатели ПКН (П – предохранитель, К – с кварцевым наполнением, Н – для защиты трансформаторов напряжения).

Таким образом, выбирается высоковольтный предохранитель ПКН001-10 УЗ.

Выбор ограничителей перенапряжения *FV5* и *FV6* производится по методике, описанной в таблице 2.5 [5].

Для защиты трансформаторной нагрузки и другого электрооборудования в воздушных распределительных сетях напряжением 10 кВ от грозových и коммутационных перенапряжений применяется ограничитель ОПН-П1-10/12/10/2 УХЛ1.

Разъединители *QS9* и *QS10* выбираются по напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{нн.гпп}} = 10 \text{ кВ,} \quad (137)$$

длительному току, который для данных разъединителей равен номинальному току ТСН на высокой стороне

$$I_{\text{ном}} \geq I_p = 9,24 \text{ А.} \quad (138)$$

Приведенным выше условиям удовлетворяет вертикальный разъединитель внутренней установки РВ-10/400 УЗ, каталожные параметры которого представлены в таблице 20 [4].

Таблица 20 – Каталожные данные разъединителя РВ-10/400 УЗ

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$i_{\text{пр.скв}}, \text{кА}$	$I_{\text{терм}}, \text{кА}$	$t_{\text{терм}}, \text{с}$
10	400	41	16	4

Выбранный разъединитель необходимо проверить.

Проверка по динамической стойкости:

$$i_{\text{пр.скв}} = 41 \text{ кА} > i_{\text{уд.к2}} = 5,6 \text{ кА.} \quad (139)$$

Тепловой импульс КЗ рассчитывается по формуле:

$$B_k = (I_{\text{к2}}^{(3)})^2 \cdot (t_{\text{пр}} + T_a) = 2,89^2 \cdot (0,44 + 0,01) = 3,76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} \quad (140)$$

Проверка по термической стойкости:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 16^2 \cdot 4 = 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_k = 3,76 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.} \quad (141)$$

В качестве трансформаторов напряжения в выбранном КРУ используются трансформаторы марки НАМИ-10 УХЛ2.

В качестве подключаемых измерительных приборов используются вольтметр, ваттметр и счетчики активной и реактивной энергии. Данные об измерительных приборах сведены в таблицу 21.

Таблица 21 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения

Прибор	Тип	Число об-к	Кол-во	$P_{\text{потр}}, \text{Вт}$	$Q_{\text{потр}}, \text{Вар}$	$P_{\Sigma}, \text{Вт}$	$Q_{\Sigma}, \text{Вар}$
Вольтметр	Э-350	1	4	2	–	8	–
Ваттметр	Д-304	3	1	2	1,5	6	4,5



Продолжение таблицы 21

Счетчик активной мощности	СА3-681	2	1	3	2,25	6	4,5
Счетчик реактивной мощности	СР3-682	2	1	3	2,25	6	4,5
Сумма	–	–	–	–	–	26	13,5

Расчетная нагрузка трансформатора напряжения определяется по формуле:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{26^2 + 12^2} = 28,64 \text{ ВА.} \quad (142)$$

Предельная величина нагрузки выбранного трансформатора в классе точности 0,5 составляет  $S_{\text{ном}} = 200 \text{ ВА}$ , следовательно, трансформатор проходит проверку по номинальной загрузке вторичной обмотки.

В качестве трансформаторов тока в выбранном КРУ используются трансформаторы марки ТОЛ-10 УХЛ2.1.

В качестве подключаемых измерительных приборов используются вольтметр, ваттметр и счетчики активной и реактивной энергии. Данные об измерительных приборах сведены в таблицу 22.

Таблица 22 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения

Прибор	Тип	Число об-к	Кол-во	$P_{\text{потр}}, \text{ Вт}$	$Q_{\text{потр}}, \text{ Вар}$	$P_{\Sigma}, \text{ Вт}$	$Q_{\Sigma}, \text{ Вар}$
Амперметр	Э-350	1	1	0,5	–	0,5	–
Ваттметр	Д-304	1	1	0,5	0,4	0,5	0,4
Счетчик активной мощности	СА3-681	2	1	2,5	2,25	5	4,5
Счетчик реактивной мощности	СР3-682	2	1	2,5	2,25	5	4,5
Сумма	–	–	–	–	–	11	9,4

Расчетная нагрузка трансформатора тока определяется по формуле:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{11^2 + 9,4^2} = 14,47 \text{ ВА.} \quad (143)$$

Суммарное сопротивление приборов:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{14,47}{5^2} = 0,58 \text{ Ом,} \quad (144)$$

где  $I_{2\text{ном}}$  – номинальный ток вторичной обмотки, А.

Сопротивление контактов принимается равным  $r_{\text{конт}} = 0,1 \text{ Ом}$ .

Контрольный кабель – АКРВГ. По условию механической прочности минимальное сечение кабелей составляет  $4 \text{ мм}^2$ , расчетная длина  $l = 4 \text{ м}$ .

Сопротивление кабеля:

$$r_{\text{каб}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{F} = \frac{0,0283 \cdot 4}{4} = 0,028 \text{ Ом.} \quad (145)$$

Вторичная загрузка трансформаторов тока:

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{каб}} + r_{\text{конт}} = 0,58 + 0,028 + 0,1 = 0,71 \text{ Ом.} \quad (146)$$

Номинальная нагрузка трансформаторов тока:

$$Z_{2\text{ном}} = \frac{S_{2\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом.} \quad (147)$$

Трансформатор проходит проверку по номинальной загрузке вторичной обмотки.

Выбранное высоковольтное оборудование для КРУ НН ГПП сведено в таблицу 23.

Таблица 23 – Высоковольтное оборудование КРУ НН ГПП

Обозначение	Наименование	Тип
<i>FU3, FU4</i>	Предохранители	ПКТ 101-10-20-12,5 У3
<i>FU5, FU6</i>	Предохранители	ПКН001-10 У3
<i>FV5, FV6</i>	ОПН	ОПН-П1-10/12/10/2 УХЛ1
<i>Q3...Q13</i>	Выключатели вакуумные	<i>BB/TEL-10-20/1000</i> У2
<i>QS9, QS10</i>	Разъединители	РВ-10/400 У3

Продолжение таблицы 23

<i>T3, T4</i>	Силовые трансформаторы	ТМ-160-10/0,4 У2
<i>TA3, TA4</i>	Трансформаторы тока	ТОЛ-10 УХЛ2.1
<i>TV3, TV4</i>	Трансформаторы напряжения	НАМИ-10 УХЛ2

10.3 Выбор комплектных трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ

Исходя из разработанного варианта расположения цеховых трансформаторных подстанций, к установке принимаются две комплектные трансформаторные подстанции внутренней установки (КТП-1, КТП-3) и одна комплектная трансформаторная подстанция наружной установки (КТП-2).

В качестве КТП ВУ используются подстанции 2КТПВ-БТКК-630/10/0,4 У3 (двухтрансформаторная подстанция внутренней установки, блочно-модульного типа, тупиковая, с кабельным вводом и выводом).

В качестве КТП НУ используются подстанции 2КТПН-КТКК-630/10/0,4 У3.

## 11 Выбор и проверка аппаратов защиты

Выбор автоматических выключателей, устанавливаемых в распределительных пунктах для защиты отдельных электроприемников, производится по следующим условиям:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{ном}}; \quad (148)$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{ном}}; \quad (149)$$

$$I_{\text{ном.э.о.}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск}}. \quad (150)$$

Для выбора аппарата защиты вентилятора, питающего через ПР1, условия (148), (149), (150) преобразуются к следующему виду:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq 1,15 \cdot 75,03 = 86,28 \text{ А}; \quad (151)$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq 1,15 \cdot 75,03 = 86,28 \text{ А}; \quad (152)$$

$$I_{\text{ном.э.о.}} \geq 1,5 \cdot 5 \cdot 86,28 = 647,1 \text{ А}. \quad (153)$$

Представленным условиям удовлетворяет токоограничивающий автоматический выключатель ВА47-100Про, имеющий следующие параметры  $I_{\text{ном.АВ}} = 100 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.тепл}} = 100 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.э.о.}} = 700 \text{ А}$  [8].

Автоматические выключатели для оставшихся электроприемников выбираются аналогично. Результаты выбора представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Автоматические выключатели для отдельных ЭП

№ по плану	Наименование ЭП	$K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{ном}}, \text{ А}$	$1,5 \cdot I_{\text{пуск}}, \text{ А}$	Автоматический выключатель	$I_{\text{ном.АВ}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном.тепл}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном.э.о.}}, \text{ А}$
1-5	Автомат сварки электродов	1,18	4,64	ВА47-063Про	2	2	6
6-8	Печь муфельная стационарная	22,07	28,79	ВА47-063Про	25	25	75
9,10	Печь отжига никелированной стальной проволоки	14,71	19,19	ВА47-063Про	16	16	48
11	Установка алюминирования никелевой проволоки	6,82	44,48	ВА47-063Про	10	10	50
12	Печь препарирования	11,04	14,4	ВА47-063Про	16	16	48
13,14	Станок радиально-сверлильный	1,51	9,83	ВА47-063Про	2	2	10
15	Дисцилятор	118,65	773,78	ВА04-31Про	125	125	1250
16	Настольный токарный станок	0,68	4,43	ВА47-063Про	1	1	5
17	Станок токарно-винторезный	8,74	57	ВА47-063Про	10	10	60
18	Точильно-шлифовальный станок	0,49	3,23	ВА47-063Про	1	1	4
19	Механическая мешалка	0,74	4,8	ВА47-063Про	1	1	5

Продолжение таблицы 24

20	Печь муфельная СНОЛ	4,6	6	ВА47-063Про	6	6	18
21	Печь сушильная	4,37	5,7	ВА47-063Про	6	6	18
22,23	Установка алюминирования провода	16,93	110,4	ВА47-063Про	20	20	120
24	Печь высокотемпер- ая	20,41	26,63	ВА47-063Про	25	25	75
25,26	Намоточное устройство	4,37	28,5	ВА47-063Про	6	6	30
27	Шаровая мельница	1,51	9,83	ВА47-063Про	2	2	10
28,29	Станок перемотки	3	19,58	ВА47-063Про	4	4	20
30,31	Преобразователь частоты	71,61	467,03	ВА47-100Про	80	80	480
32	Станок радиально- сверлильный	2,73	17,78	ВА47-063Про	4	4	20
33	Точильно- шлифовальный станок	4,09	26,7	ВА47-063Про	6	6	30
34	Станок координатно- расточный	8,74	57	ВА47-063Про	10	10	60
35	Станок токарный	9	58,73	ВА47-063Про	10	10	60
36-43	Станок резки спирали	3,55	23,18	ВА47-063Про	4	4	24

Продолжение таблицы 24

44,45	Станок ручной резки спирали	0,87	5,7	BA47-063Про	1	1	6
46-48	Станок спирализации	1,77	11,55	BA47-063Про	2	2	12
49-51	Станок спирализации	1,51	9,83	BA47-063Про	2	2	10
52-55	Станок спирализации	6	39,15	BA47-063Про	10	10	40
56-58	Станок спирализации	8,74	57	BA47-063Про	10	10	60
59-61	Станок спирализации скоростной	7,37	48,08	BA47-063Про	10	10	50
62,63	Станок спирализации	16,65	108,6	BA47-063Про	20	20	120
64-67	Полуавтомат резки спирали с препарированием	12,28	80,1	BA47-063Про	16	16	96
68	2-х зонная печь препарирования с перемоткой	14,47	94,35	BA47-063Про	16	16	96
69	Однозонная печь с перемоткой	6,82	44,48	BA47-063Про	10	10	50
70,71	Вентилятор	86,28	562,73	BA47-100Про	100	100	600

Выбор автоматических выключателей, устанавливаемых в распределительных пунктах для защиты группы электроприемников, производится по следующим условиям:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{р}}; \quad (154)$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{р}}; \quad (155)$$

$$I_{\text{ном.э.о.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}. \quad (156)$$

Для выбора аппарата защиты ПР1 условия (154), (155), (156) преобразуются к следующему виду:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq 1,1 \cdot 63,16 = 69,48 \text{ А}; \quad (157)$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq 1,1 \cdot 63,16 = 69,48 \text{ А}; \quad (158)$$

$$I_{\text{ном.э.о.}} \geq 1,25 \cdot 389,53 = 486,91 \text{ А}. \quad (159)$$

Представленным условиям удовлетворяет автоматический выключатель ВА57-35, имеющий следующие параметры  $I_{\text{ном.АВ}} = 125 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.тепл}} = 125 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.э.о.}} = 625 \text{ А}$  [8].

Автоматические выключатели для оставшихся распределительных пунктов выбираются аналогично. Результаты выбора представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Автоматические выключатели для отдельных ЭП

Номер пункта	$K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{р}}$ , А	$1,25 \cdot I_{\text{пик}}$ , А	АВ	$I_{\text{ном.АВ}}$ , А	$I_{\text{ном.тепл}}$ , А	$I_{\text{ном.э.о.}}$ , А
ПР1	69,48	486,91	ВА57-35	125	125	625
ПР2	138,37	491,96	ВА57-35	160	160	800
ПР3	79,48	136,56	ВА57-35	80	80	400
ПР4	16,11	37,13	ВА57-35	20	20	100
ПР5	5,59	38,15	ВА57-35	16	16	80
ПР6	11,6	60,88	ВА57-35	16	16	80
ПР7	21,85	89,74	ВА57-35	25	25	125
ПР8	39,77	124,31	ВА57-35	40	40	200
ПР9	165,79	742,91	ВА57-35	200	200	2000



В качестве аппаратов защиты в низковольтном комплектном устройстве (НКУ) КТП используются автоматические выключатели марки ВА.

Выбор автоматических выключателей, защищающих группу ЭП, осуществляется с помощью следующих условий:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{р}}; \quad (160)$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{р}}; \quad (161)$$

$$I_{\text{ном.э.о.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}, \quad (162)$$

где  $K_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса (таблица 8.6) [1];

$I_{\text{р}}$  – расчетный ток группы ЭП, А;

$I_{\text{пик}}$  – пиковый ток группы ЭП, А.

Для автоматического выключателя отходящей КЛ НКУ КТП-1 – ВРУ, расчетный ток рассчитывался в предыдущих пунктах и равен

$$I_{\text{р.ВРУ}} = 409,5 \text{ А}. \quad (163)$$

Пиковый ток данного автоматического выключателя рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.ВРУ}} &= I_{\text{пуск.мах}} + (I_{\text{р.ВРУ}} - k_{\text{и}} \cdot I_{\text{ном.мах}}) = \\ &= 464,25 + (409,5 - 0,7 \cdot 92,85) = 808,76 \text{ А}, \end{aligned} \quad (164)$$

где  $I_{\text{пуск.мах}}$  – пусковой ток самого мощного ЭП спирального цеха, А;

$I_{\text{ном.мах}}$  – номинальный ток самого мощного ЭП спирального цеха, А;

$k_{\text{и}}$  – коэффициент использования самого мощного ЭП спирального цеха.

Таким образом, условия (160), (161), (162) для выбора автоматического выключателя для КЛ НКУ КТП-1 – ВРУ преобразуются к следующему виду:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq 1,1 \cdot 409,5 = 450,45 \text{ А}; \quad (165)$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq 1,1 \cdot 409,5 = 450,45 \text{ А}; \quad (166)$$

$$I_{\text{ном.э.о.}} \geq 1,25 \cdot 808,76 = 1010,95 \text{ А}. \quad (167)$$

Данным условиям удовлетворяет автоматический выключатель категории применения А ВА50-39Про Н, обладающий следующими параметрами  $I_{\text{ном.АВ}} = 500 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.тепл}} = 500 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.э.о.}} = 1250 \text{ А}$  [8].

Выбор вводного автоматического выключателя осуществляется по току послеаварийного режима:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq 1,4 \cdot I_{\text{ном.тр}} = 1,4 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1273 \text{ А}; \quad (168)$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq 1,4 \cdot I_{\text{ном.тр}} = 1,4 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1273 \text{ А}. \quad (169)$$

Условием удовлетворяет автоматический выключатель ВА50-43Про Н с параметрами  $I_{\text{ном.АВ}} = 1600 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.тепл}} = 1600 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.э.о.}} = 4800 \text{ А}$  [8].

Выбор секционного автоматического выключателя осуществляется по току нормального режима:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{ном.тр}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 999,9 \text{ А}; \quad (170)$$

$$I_{\text{ном.тепл}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{ном.тр}} = 1,1 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 999,9 \text{ А}. \quad (171)$$

Условием удовлетворяет автоматический выключатель ВА50-43Про Н с параметрами  $I_{\text{ном.АВ}} = 1000 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.тепл}} = 1000 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном.э.о.}} = 3000 \text{ А}$  [8].

Для защиты установленных на подстанции БСК используются предохранители, выбираемые по условию:

$$I_{\text{ном.вст.}} \geq \frac{n \cdot Q_{\text{БК}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577 \text{ А}; \quad (172)$$

$$I_{\text{ном.вст.}} \leq \frac{1,6 \cdot n \cdot Q_{\text{БК}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,6 \cdot 4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 924 \text{ А}.$$

Предохранитель ПН2-600 удовлетворяет условию.

## 12 Выбор распределительных пунктов (ПР) в сети ниже 1000 В

В спиральном цехе близкорасположенные электроприемники подключаются через распределительные пункты.

Выбор распределительных пунктов производится по максимальному количеству доступных присоединений, расчетному току группы подключаемых электроприемников и рабочему напряжению.

К ПР1 подключаются 8 электроприемников. С учетом возможного расширения производства количество доступных присоединений принимается равным  $n_{\text{прис}} = 10$ .

Расчетный ток группы подключаемых электроприемников рассчитывался в предыдущих пунктах и равен  $I_{\text{р.ПР1}} = 63,16$  А.

К установке принимается ПР-8501-1 2 073 54 У2 с номинальными параметрами  $I_{\text{ном}} = 250$  А,  $U_{\text{ном}} = 0,4$  кВ [9].

Оставшиеся распределительные пункты выбираются аналогично. Выбранные ПР представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Распределительные пункты спирального цеха

№ ПР на схеме	Кол-во подкл.	$I_{\text{р}}$ , А	Наименование	$I_{\text{ном}}$ , А	$n_{\text{прис}}$ , шт.
ПР1	8	63,16	ПР-8501-1 2 073 54 У2	250	10
ПР2	6	125,79	ПР-8501-1 2 067 54 У2	250	8
ПР3	9	84,08	ПР-8501-1 2 093 54 У2	630	12
ПР4	8	14,64	ПР-8501-1 2 073 54 У2	250	10
ПР5	8	5,09	ПР-8501-1 2 073 54 У2	250	10
ПР6	9	13,43	ПР-8501-1 2 073 54 У2	250	10
ПР7	8	19,87	ПР-8501-1 2 073 54 У2	250	10
ПР8	8	36,16	ПР-8501-1 2 073 54 У2	250	10
ПР9	9	150,72	ПР-8501-1 2 073 54 У2	250	10
ВРУ	9	409,5	ВРУ-1Р-47-00А-УХЛ4	630	10

### 13 Выбор и проверка низковольтных линий от КТП до отдельного ЭП

#### 13.1 Выбор и проверка низковольтных линий от ПР до отдельного ЭП

Выбор данных низковольтных линий производится по условию нагрева длительным расчетным током, который в данном случае равен номинальному току ЭП, т.е.

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}} = I_{\text{ном.ЭП}}, \quad (173)$$

и по условию соответствия выбранному аппарату защиты

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}}, \quad (174)$$

где  $K_{\text{защ}}$  – кратность длительного допустимого тока для провода или кабеля по отношению к току срабатывания защитного аппарата;

$I_{\text{защ}}$  – ток уставки защитного аппарата.

Наличие большого числа печей в спиральном цехе приводит к тому, что температура внутри цеха отличается от нормальной. Исходя из вышесказанного, при выборе низковольтных линий необходимо учитывать коэффициент прокладки.

Тогда условия выбора линий примут следующий вид:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{ном.ЭП}}}{K_1 \cdot K_2}; \quad (175)$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}}}{K_1 \cdot K_2}, \quad (176)$$

Условия (175), (176) при выборе низковольтной линии ПР1 – вентилятор преобразуются к следующему виду:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{75,03}{0,94 \cdot 1} = 79,82 \text{ А}; \quad (177)$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{1 \cdot 100}{0,94 \cdot 1} = 106,38 \text{ А}. \quad (178)$$

Исходя из этих условий принимается кабель АВВГ (3x50+1x25) с  $I_{\text{доп}} = 110 \text{ А}$ .

Выбор остальных кабельных линий производится аналогично. Результаты выбора представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Кабельные линии к отдельным ЭП

№ ЭП	КЛ	$I_{\text{доп}}, \text{ А}$	$\frac{I_{\text{ном.ЭП}}}{K_1 \cdot K_2}, \text{ А}$	$\frac{K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}}}{K_1 \cdot K_2}, \text{ А}$
1-5	АВВГ 4x2,5	19	1,1	2,13
6-8	АВВГ 4x4	27	20,41	26,6
9,10	АВВГ 4x2,5	19	13,61	17,02
11	АВВГ 4x2,5	19	6,31	10,64
12	АВВГ 4x2,5	19	10,21	17,02
13,14	АВВГ 4x2,5	19	1,39	2,13
15	АВВГ (3x70+1x35)	140	109,76	132,98
16	АВВГ 4x2,5	19	0,63	1,06
17	АВВГ 4x2,5	19	8,09	10,64
18	АВВГ 4x2,5	19	0,46	1,06
19	АВВГ 4x2,5	19	0,68	1,06
20	АВВГ 4x2,5	19	4,26	6,38
21	АВВГ 4x2,5	19	4,04	6,38
22,23	АВВГ 4x4	27	15,66	21,28
24	АВВГ 4x4	27	18,88	26,6
25,26	АВВГ 4x2,5	19	4,04	6,38
27	АВВГ 4x2,5	19	1,39	2,13
28,29	АВВГ 4x2,5	19	2,78	4,26
30,31	АВВГ (3x35+1x25)	90	66,24	85,11
32	АВВГ 4x2,5	19	2,52	4,26
33	АВВГ 4x2,5	19	3,79	6,38
34	АВВГ 4x2,5	19	8,09	10,64
35	АВВГ 4x2,5	19	8,33	10,64
36-43	АВВГ 4x2,5	19	3,29	4,26
44,45	АВВГ 4x2,5	19	0,81	1,06

Продолжение таблицы 27

46-48	АВВГ 4x2,5	19	1,64	2,13
49-51	АВВГ 4x2,5	19	1,39	2,13
52-55	АВВГ 4x2,5	19	5,55	10,64
56-58	АВВГ 4x2,5	19	8,09	10,64
59-61	АВВГ 4x2,5	19	6,82	10,64
62,63	АВВГ 4x4	27	15,4	21,28
64-67	АВВГ 4x2,5	19	11,36	17,02
68	АВВГ 4x2,5	19	13,38	17,02
69	АВВГ 4x2,5	19	6,31	10,64
70,71	АВВГ (3x50+1x25)	110	79,82	106,38

13.2 Выбор и проверка низковольтных линий от вводно-распределительного устройства спирального цеха до ПР

Выбор низковольтных линий от ВРУ до ПР спирального цеха осуществляется по допустимому нагреву

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2} \quad (179)$$

и по условию соответствия выбранному аппарату защиты

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}}}{K_1 \cdot K_2} \quad (180)$$

Выбор данных кабельных линий аналогичен выбору линий до отдельных ЭП. Результат выбора представлен в таблице 28.

Таблица 28 – Кабельные линии до ПР

№ ПР	КЛ	$I_{\text{доп}}, \text{ А}$	$\frac{I_p}{K_1 \cdot K_2}, \text{ А}$	$\frac{K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}}}{K_1 \cdot K_2}, \text{ А}$
1	АВВГ (3x70+1x35)	140	67,19	132,98
2	АВВГ (3x120+1x70)	200	133,82	170,21
3	АВВГ (3x35+1x25)	90	76,86	85,11
4	АВВГ 4x4	27	15,58	21,28

Продолжение таблицы 28

5	АВВГ 4x2,5	19	5,41	17,02
6	АВВГ 4x2,5	19	11,22	17,02
7	АВВГ 4x4	27	21,14	26,6
8	АВВГ 4x16	60	38,46	42,55
9	АВВГ (3x150+1x95)	235	160,34	212,77

### 13.3 Выбор и проверка низковольтной линии от КТП до ВРУ

Выбор низковольтных линий от КТП до ВРУ спирального цеха осуществляется по допустимому нагреву

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.ВРУ}} \quad (181)$$

и по условию соответствия выбранному аппарату защиты

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}} \quad (182)$$

Условия (181), (182) при выборе низковольтной линии КТП-1 – ВРУ преобразуются к следующему виду:

$$I_{\text{доп}} \geq 409,5 \text{ А}; \quad (183)$$

$$I_{\text{доп}} \geq 1 \cdot 500 = 500 \text{ А}. \quad (184)$$

Условием удовлетворяет кабельная линия 2АВВГ (3x95+1x50) с  $I_{\text{доп}} = 255 \text{ А}$ .

14 Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения.  
Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП

На рисунке 11 представлена расчетная схема внутрицеховой сети.

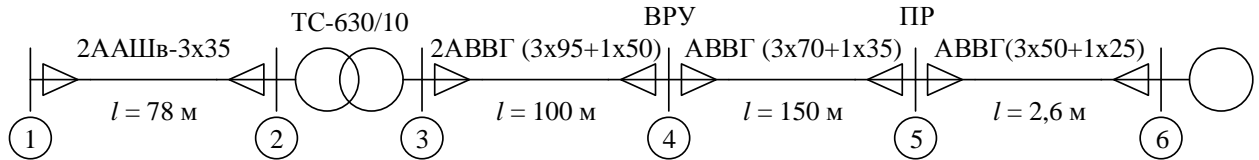


Рисунок 11 – Расчетная схема внутрицеховой сети

Активная и реактивная составляющая напряжения КЗ трансформатора КТП-1:

$$U_a = \frac{\Delta P_k \cdot 100}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{7,3 \cdot 100}{630} = 1,16\%; \quad (185)$$

$$U_p = \sqrt{u_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,16^2} = 5,38\%. \quad (186)$$

Активные сопротивления кабельных линий:

$$R_{12} = r_0 \cdot l = 0,894 \cdot 0,078 = 0,07 \text{ Ом}; \quad (187)$$

$$R_{34} = r_0 \cdot l = 0,34 \cdot 0,1 = 0,034 \text{ Ом}; \quad (188)$$

$$R_{45} = r_0 \cdot l = 0,46 \cdot 0,15 = 0,069 \text{ Ом}; \quad (189)$$

$$R_{56} = r_0 \cdot l = 0,64 \cdot 0,0026 = 0,002 \text{ Ом}. \quad (190)$$

Индуктивные сопротивления кабельных линий:

$$X_{12} = x_0 \cdot l = 0,08 \cdot 0,078 = 0,01 \text{ Ом}; \quad (191)$$

$$X_{34} = x_0 \cdot l = 0,06 \cdot 0,1 = 0,006 \text{ Ом}; \quad (192)$$

$$X_{45} = x_0 \cdot l = 0,06 \cdot 0,15 = 0,009 \text{ Ом}; \quad (193)$$

$$X_{56} = x_0 \cdot l = 0,06 \cdot 0,0026 = 0 \text{ Ом}. \quad (194)$$

Расчет на потерю напряжения необходимо производить для трех режимов: максимального, минимального, послеаварийного.



Нагрузки минимального режима определяются по типовому графику нагрузки, представленному на рисунке 3.

$$P_{12\min} = 0,3 \cdot P_{12} = 0,3 \cdot 470,51 = 141,15 \text{ кВт}; \quad (195)$$

$$P_{34\min} = 0,3 \cdot P_{34} = 0,3 \cdot 107,89 = 32,37 \text{ кВт}; \quad (196)$$

$$P_{45\min} = 0,3 \cdot P_{45} = 0,3 \cdot 34,97 = 10,49 \text{ кВт}; \quad (197)$$

$$P_{56\min} = 0,3 \cdot P_{56} = 0,3 \cdot 26 = 7,8 \text{ кВт}; \quad (198)$$

$$Q_{12\min} = \frac{0,025}{0,525} \cdot Q_{12} = \frac{0,025}{0,525} \cdot 154,8 = 7,37 \text{ кВар}; \quad (199)$$

$$Q_{34\min} = \frac{0,025}{0,525} \cdot Q_{34} = \frac{0,025}{0,525} \cdot 30,76 = 1,46 \text{ кВар}; \quad (200)$$

$$Q_{45\min} = \frac{0,025}{0,525} \cdot Q_{45} = \frac{0,025}{0,525} \cdot 22,48 = 1,07 \text{ кВар}; \quad (201)$$

$$Q_{56\min} = \frac{0,025}{0,525} \cdot Q_{56} = \frac{0,025}{0,525} \cdot 0 = 0 \text{ кВар}. \quad (202)$$

Загрузка трансформаторов КТП-1 в минимальном режиме:

$$\beta_{\min} = \frac{0,3 \cdot P}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{0,3 \cdot 464,29}{630} = 0,22. \quad (203)$$

Нагрузка в послеаварийном участке изменится только на участках 1-2 и 3-4:

$$P_{12\text{п/ав}} = 2 \cdot P_{12} = 2 \cdot 470,51 = 941,01 \text{ кВт}; \quad (204)$$

$$P_{34\text{п/ав}} = 2 \cdot P_{34} = 2 \cdot 107,89 = 215,77 \text{ кВт}; \quad (205)$$

$$Q_{12\text{п/ав}} = 2 \cdot Q_{12} = 2 \cdot 154,8 = 309,59 \text{ кВар}; \quad (206)$$

$$Q_{34\text{п/ав}} = 2 \cdot Q_{34} = 2 \cdot 30,76 = 61,51 \text{ кВар}. \quad (207)$$

Загрузка трансформаторов КТП-1 в минимальном режиме:

$$\beta_{\text{п/ав}} = \frac{2 \cdot P}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{2 \cdot 464,29}{630} = 1,47. \quad (208)$$

Потоки мощности для всех режимов представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Потоки мощности на участках электрической сети

		1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
$P$ , кВт	max	470,51	464,29	107,89	34,97	26
	min	141,15	139,29	32,37	10,49	7,8
	п/ав	941,01	928,58	215,77	34,97	26
$Q$ , кВар	max	154,8	125,33	30,76	22,48	0
	min	7,37	5,97	1,46	1,07	0
	п/ав	309,59	250,66	61,51	22,48	0

#### 14.1 Расчет сети по потерям напряжения в максимальном режиме

Потеря напряжения в КЛ ГПП – КТП-1:

$$\Delta U_{12\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{470,51 \cdot 0,07 + 154,8 \cdot 0,01}{10 \cdot 10,5^2} = 0,03\%, \quad (209)$$

где  $P_{12}$ ,  $Q_{12}$  – поток активной и реактивной мощности на участке, кВт и кВар соответственно;

$R_{12}$ ,  $X_{12}$  – активное и индуктивное сопротивление участка, Ом;

$U_1$  – напряжение в точке 1, кВ.

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 0,03 \cdot \frac{10500}{100} = 3,2 \text{ В.} \quad (210)$$

Напряжение в точке 2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 3,2 = 10496,8 \text{ В.} \quad (211)$$

Потеря напряжения в трансформаторах КТП-1:

$$\begin{aligned} \Delta U_{23\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 - U_p \cdot \sin \varphi_2) = \\ &= 0,76 \cdot (1,16 \cdot 0,97 + 5,38 \cdot 0,26) + \frac{0,76^2}{200} \cdot \\ &\quad \cdot (1,16 \cdot 0,97 - 5,38 \cdot 0,26) = 1,92\%; \end{aligned} \quad (212)$$

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23\%} \cdot \frac{U_2}{100} = 1,92 \cdot \frac{10496,8}{100} = 201,5 \text{ В.} \quad (213)$$

Напряжение на шинах ВН КТП-1:

$$U_{3ВН} = U_2 - \Delta U_{23} = 10496,8 - 201,5 = 10295,3 \text{ В.} \quad (214)$$

Напряжение в точке 3:

$$U_3 = U_{3ВН} \cdot \frac{U_{НН}}{U_{ВН}} = 10295,3 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 392,2 \text{ В.} \quad (215)$$

Потеря напряжения в КЛ КТП-1 – ВРУ:

$$\Delta U_{34\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{107,89 \cdot 0,034 + 30,76 \cdot 0,006}{10 \cdot 0,3922^2} = 2,5\%; \quad (216)$$

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34\%} \cdot \frac{U_3}{100} = 2,5 \cdot \frac{392,2}{100} = 9,8 \text{ В.} \quad (217)$$

Напряжение в точке 4:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 392,2 - 9,8 = 382,4 \text{ В.} \quad (218)$$

Потеря напряжения в КЛ ВРУ – ПР1:

$$\Delta U_{45\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{34,97 \cdot 0,069 + 22,48 \cdot 0,009}{10 \cdot 0,3824^2} = 1,79\%; \quad (219)$$

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45\%} \cdot \frac{U_4}{100} = 1,79 \cdot \frac{382,4}{100} = 6,8 \text{ В.} \quad (220)$$

Напряжение в точке 5:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 382,4 - 6,8 = 375,6 \text{ В.} \quad (221)$$

Потеря напряжения в КЛ ПР1 – вентилятор:

$$\Delta U_{56\%} = \frac{P_{56} \cdot R_{56} + Q_{56} \cdot X_{56}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{26 \cdot 0,002}{10 \cdot 0,3756^2} = 0,04\%; \quad (222)$$

$$\Delta U_{56} = \Delta U_{56\%} \cdot \frac{U_5}{100} = 0,04 \cdot \frac{375,6}{100} = 0,2 \text{ В.} \quad (223)$$

Напряжение в точке 6:

$$U_6 = U_5 - \Delta U_{56} = 375,6 - 0,2 = 375,4 \text{ В.} \quad (224)$$

## 14.2 Расчет сети по потерям напряжения в минимальном режиме

Потеря напряжения в КЛ ГПП – КТП-1:

$$\Delta U_{12\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{141,15 \cdot 0,07 + 7,37 \cdot 0,01}{10 \cdot 10^2} = 0,01\%, \quad (225)$$

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 0,01 \cdot \frac{10000}{100} = 1 \text{ В.} \quad (226)$$

Напряжение в точке 2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10000 - 1 = 9999 \text{ В.} \quad (227)$$

Потеря напряжения в трансформаторах КТП-1:

$$\begin{aligned} \Delta U_{23\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 - U_p \cdot \sin \varphi_2) = \\ &= 0,22 \cdot (1,16 \cdot 0,97 + 5,38 \cdot 0,26) + \frac{0,22^2}{200} \cdot \\ &\quad \cdot (1,16 \cdot 0,97 - 5,38 \cdot 0,26) = 0,56\%; \end{aligned} \quad (228)$$

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23\%} \cdot \frac{U_2}{100} = 0,56 \cdot \frac{9999}{100} = 56 \text{ В.} \quad (229)$$

Напряжение на шинах ВН КТП-1:

$$U_{3ВН} = U_2 - \Delta U_{23} = 9999 - 56 = 9943 \text{ В.} \quad (230)$$

Напряжение в точке 3:

$$U_3 = U_{3ВН} \cdot \frac{U_{НН}}{U_{ВН}} = 9943 \cdot \frac{0,38}{10} = 377,8 \text{ В.} \quad (231)$$

Потеря напряжения в КЛ КТП-1 – ВРУ:

$$\Delta U_{34\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{32,37 \cdot 0,034 + 1,46 \cdot 0,006}{10 \cdot 0,3778^2} = 0,78\%; \quad (232)$$

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34\%} \cdot \frac{U_3}{100} = 0,78 \cdot \frac{377,8}{100} = 2,9 \text{ В.} \quad (233)$$

Напряжение в точке 4:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 377,8 - 2,9 = 374,9 \text{ В.} \quad (234)$$

Потеря напряжения в КЛ ВРУ – ПР1:

$$\Delta U_{45\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{10,49 \cdot 0,069 + 1,07 \cdot 0,009}{10 \cdot 0,3749^2} = 0,52\%; \quad (235)$$

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45\%} \cdot \frac{U_4}{100} = 0,52 \cdot \frac{374,9}{100} = 1,9 \text{ В.} \quad (236)$$

Напряжение в точке 5:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 374,9 - 1,9 = 373 \text{ В.} \quad (237)$$

Потеря напряжения в КЛ ПР1 – вентилятор:

$$\Delta U_{56\%} = \frac{P_{56} \cdot R_{56} + Q_{56} \cdot X_{56}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{7,8 \cdot 0,002}{10 \cdot 0,373^2} = 0,01\%; \quad (238)$$

$$\Delta U_{56} = \Delta U_{56\%} \cdot \frac{U_5}{100} = 0,01 \cdot \frac{373}{100} = 0 \text{ В.} \quad (239)$$

Напряжение в точке 6:

$$U_6 = U_5 = 373 \text{ В.} \quad (240)$$

### 14.3 Расчет сети по потерям напряжения в послеаварийном режиме

Потеря напряжения в КЛ ГПП – КТП-1:

$$\Delta U_{12\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{941,01 \cdot 0,07 + 309,59 \cdot 0,01}{10 \cdot 10,5^2} = 0,06\%, \quad (241)$$

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 0,06 \cdot \frac{10500}{100} = 6,3 \text{ В.} \quad (242)$$

Напряжение в точке 2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 6,3 = 10493,7 \text{ В.} \quad (243)$$

Потеря напряжения в трансформаторах КТП-1:

$$\begin{aligned} \Delta U_{23\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) + \frac{\beta^2}{200} \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 - U_p \cdot \sin \varphi_2) = \\ &= 1,47 \cdot (1,16 \cdot 0,97 + 5,38 \cdot 0,26) + \frac{1,47^2}{200} \cdot \\ &\quad \cdot (1,16 \cdot 0,97 - 5,38 \cdot 0,26) = 3,7\%; \end{aligned} \quad (244)$$

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23\%} \cdot \frac{U_2}{100} = 3,7 \cdot \frac{10493,7}{100} = 388,3 \text{ В.} \quad (245)$$

Напряжение на шинах ВН КТП-1:

$$U_{3ВН} = U_2 - \Delta U_{23} = 10493,7 - 388,3 = 10105,4 \text{ В.} \quad (246)$$

Напряжение в точке 3:

$$U_3 = U_{3ВН} \cdot \frac{U_{НН}}{U_{ВН}} = 10105,4 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 385 \text{ В.} \quad (247)$$

Потеря напряжения в КЛ КТП-1 – ВРУ:

$$\Delta U_{34\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{215,77 \cdot 0,034 + 61,51 \cdot 0,006}{10 \cdot 0,385^2} = 5,2\%; \quad (248)$$

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34\%} \cdot \frac{U_3}{100} = 5,2 \cdot \frac{385}{100} = 20 \text{ В.} \quad (249)$$

Напряжение в точке 4:

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 385 - 20 = 365 \text{ В.} \quad (250)$$

Потеря напряжения в КЛ ВРУ – ПР1:

$$\Delta U_{45\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{34,97 \cdot 0,069 + 22,48 \cdot 0,009}{10 \cdot 0,365^2} = 1,96\%; \quad (251)$$

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45\%} \cdot \frac{U_4}{100} = 1,96 \cdot \frac{365}{100} = 7,2 \text{ В.} \quad (252)$$

Напряжение в точке 5:

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 365 - 7,2 = 357,8 \text{ В.} \quad (253)$$

Потеря напряжения в КЛ ПР1 – вентилятор:

$$\Delta U_{56\%} = \frac{P_{56} \cdot R_{56} + Q_{56} \cdot X_{56}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{26 \cdot 0,002}{10 \cdot 0,3578^2} = 0,04\%; \quad (254)$$

$$\Delta U_{56} = \Delta U_{56\%} \cdot \frac{U_5}{100} = 0,04 \cdot \frac{357,8}{100} = 0,1 \text{ В.} \quad (255)$$

Напряжение в точке 6:

$$U_6 = U_5 - \Delta U_{56} = 357,8 - 0,1 = 357,7 \text{ В.} \quad (256)$$

Графическое отображение результатов расчета представлено в качестве эпюры отклонения напряжения, изображенной на рисунке 12.

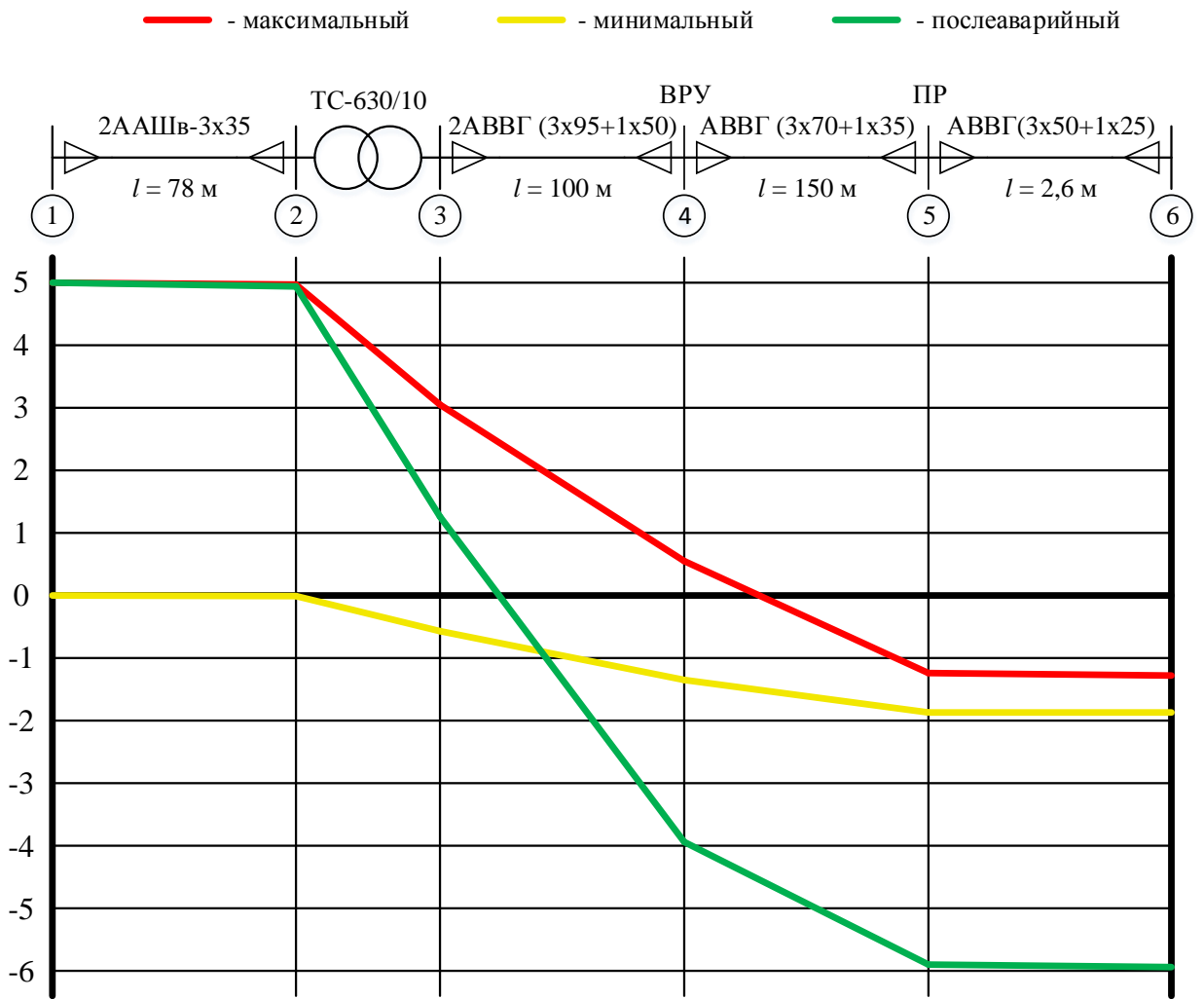


Рисунок 12 – Эпюра отклонения напряжения

## 15 Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В

На рисунке 13 представлена расчетная схема электроснабжения ЭП.

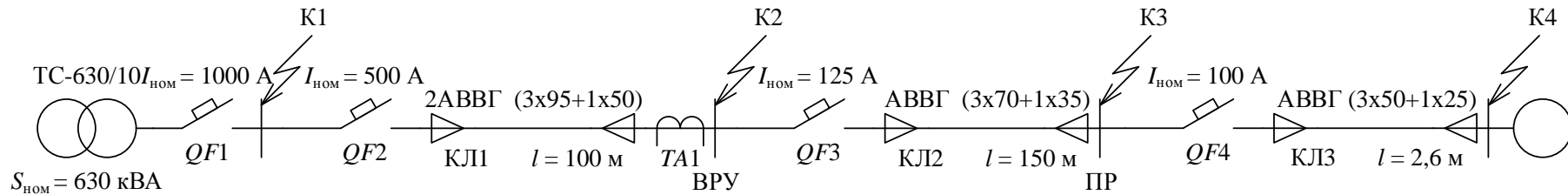


Рисунок 13 – Расчетная схема электроснабжения ЭП с указанием точек КЗ

На рисунках 14 и 15 представлены схемы замещения для трехфазного и однофазного КЗ соответственно.

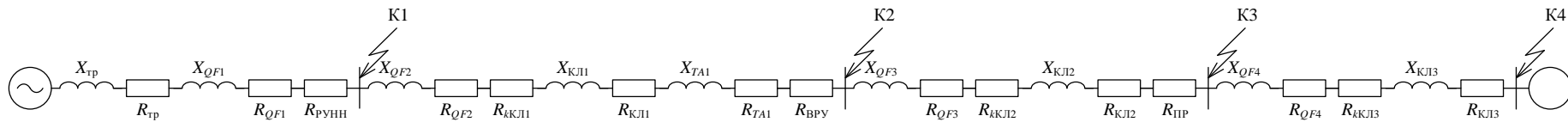


Рисунок 14 – Схема замещения для трехфазного КЗ

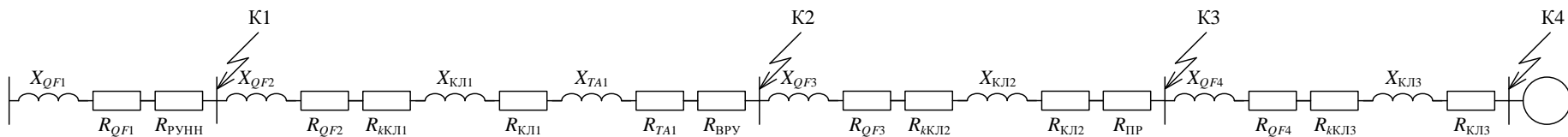


Рисунок 15 – Схема замещения для однофазного КЗ



Сопротивления трансформатора:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}^2} = \frac{7,3 \cdot 400^2}{630^2} = 2,94 \text{ мОм}; \quad (257)$$

$$X_{\text{тр}} = \sqrt{\left(\frac{u_{\text{к}}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\text{к}}}{S_{\text{НОМ}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{7,3}{630}\right)^2} \cdot \frac{400^2}{630} = 13,65 \text{ мОм}. \quad (258)$$

Сопротивления кабельных линий рассчитывались в предыдущем разделе:

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot l = 0,34 \cdot 100 = 34 \text{ мОм}; \quad (259)$$

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot l = 0,46 \cdot 150 = 69 \text{ мОм}; \quad (260)$$

$$R_{\text{КЛ3}} = r_0 \cdot l = 0,64 \cdot 2,6 = 1,66 \text{ мОм}; \quad (261)$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot l = 0,06 \cdot 100 = 6 \text{ мОм}; \quad (262)$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot l = 0,06 \cdot 150 = 9 \text{ мОм}; \quad (263)$$

$$X_{\text{КЛ3}} = x_0 \cdot l = 0,06 \cdot 2,6 = 0,16 \text{ мОм}. \quad (264)$$

Сопротивления контактных соединений кабелей:

$$R_{\text{кКЛ1}} = R_{\text{кКЛ2}} = R_{\text{кКЛ3}} = 0,1 \text{ мОм}. \quad (265)$$

Сопротивления ступеней распределения:

$$R_{\text{РУНН}} = 15 \text{ мОм}; \quad (266)$$

$$R_{\text{ВРУ}} = 20 \text{ мОм}; \quad (267)$$

$$R_{\text{ИР}} = 25 \text{ мОм}. \quad (268)$$

Сопротивления первичной обмотки трансформаторов тока:

$$R_{\text{ТА1}} = 0,07 \text{ мОм}; \quad (269)$$

$$X_{\text{ТА1}} = 0,05 \text{ мОм}. \quad (270)$$

Сопротивления контактов автоматических выключателей:

$$R_{\text{QF1}} = 0,1 \text{ мОм}; \quad (271)$$

$$X_{\text{QF1}} = 0,1 \text{ мОм}; \quad (272)$$

$$R_{\text{QF2}} = 0,14 \text{ мОм}; \quad (273)$$

$$X_{QF2} = 0,15 \text{ мОм}; \quad (274)$$

$$R_{QF3} = 1 \text{ мОм}; \quad (275)$$

$$X_{QF3} = 0,95 \text{ мОм}; \quad (276)$$

$$R_{QF4} = 1,3 \text{ мОм}; \quad (277)$$

$$X_{QF4} = 1,2 \text{ мОм}. \quad (278)$$

Суммарные сопротивления участков:

$$R_1 = R_{\text{тр}} + R_{QF1} + R_{\text{ПУНН}} = 2,94 + 0,1 + 15 = 18,04 \text{ мОм}; \quad (279)$$

$$X_1 = X_{\text{тр}} + X_{QF1} = 13,65 + 0,1 = 13,75 \text{ мОм}; \quad (280)$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{\text{ККЛ1}} + R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{ТА1}} + R_{\text{БРУ}} = 0,14 + 0,1 + 34 + 0,07 + \\ + 20 = 54,31 \text{ мОм}; \quad (281)$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{\text{КЛ1}} + X_{\text{ТА1}} = 0,15 + 6 + 0,05 = 6,2 \text{ мОм}; \quad (282)$$

$$R_3 = R_{QF3} + R_{\text{ККЛ2}} + R_{\text{КЛ2}} + R_{\text{ИР}} = 1 + 0,1 + 69 + 25 = 95,1 \text{ мОм}; \quad (283)$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{\text{КЛ2}} = 0,95 + 9 = 9,95 \text{ мОм}; \quad (284)$$

$$R_4 = R_{QF4} + R_{\text{ККЛ3}} + R_{\text{КЛ3}} = 1,3 + 0,1 + 1,66 = 3,06 \text{ мОм}; \quad (285)$$

$$X_4 = X_{QF4} + X_{\text{КЛ3}} = 1,2 + 0,16 = 1,36 \text{ мОм}. \quad (286)$$

Расчет токов трехфазного КЗ.

Точка К1:

Полное сопротивление до точки К3:

$$Z_{\text{рез.К1}} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{18,04^2 + 13,75^2} = 22,68 \text{ мОм}. \quad (287)$$

Ток трехфазного КЗ:

$$I_{\text{К1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез.К1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 22,68} = 10,18 \text{ кА}. \quad (288)$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{\text{уд.К1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{К1}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 10,18 = 18,72 \text{ кА}. \quad (289)$$

Точка К2:

Полное сопротивление до точки К3:

$$\begin{aligned} Z_{\text{рез.К2}} &= \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} = \\ &= \sqrt{(18,04 + 54,31)^2 + (13,75 + 6,2)^2} = 75,05 \text{ мОм.} \end{aligned} \quad (290)$$

Ток трехфазного К3:

$$I_{\text{К2}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез.К2}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 75,05} = 3,08 \text{ кА.} \quad (291)$$

Ударный ток К3:

$$i_{\text{уд.К2}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{К2}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,08 = 4,36 \text{ кА.} \quad (292)$$

Точка К3:

Полное сопротивление до точки К3:

$$\begin{aligned} Z_{\text{рез.К3}} &= \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (X_1 + X_2 + X_3)^2} = \\ &= \sqrt{(18,04 + 54,31 + 95,1)^2 + (13,75 + 6,2 + 9,95)^2} = \\ &= 170,1 \text{ мОм.} \end{aligned} \quad (293)$$

Ток трехфазного К3:

$$I_{\text{К3}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез.К3}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 170,1} = 1,36 \text{ кА.} \quad (294)$$

Ударный ток К3:

$$i_{\text{уд.К3}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{К3}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,36 = 1,92 \text{ кА.} \quad (295)$$

Точка К4:

Полное сопротивление до точки К3:

$$\begin{aligned} Z_{\text{рез.К4}} &= \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)^2 + (X_1 + X_2 + X_3 + X_4)^2} = \\ &= \sqrt{(18,04 + 54,31 + 95,1 + 3,06)^2 + (13,75 + 6,2 + 9,95 + 1,36)^2} = \\ &= 173,35 \text{ мОм.} \end{aligned} \quad (296)$$

Ток трехфазного К3:

$$I_{\text{К4}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез.К4}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 173,35} = 1,33 \text{ кА.} \quad (297)$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{уд.К4} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{К4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,33 = 1,88 \text{ кА.} \quad (298)$$

Сопротивление трансформатора при однофазном КЗ (таблица 7.5) [2]:

$$Z_{тр}^{(1)} = 42 \text{ мОм.} \quad (299)$$

Сопротивление нулевого проводника КЛ:

$$R_{КЛ1-0} = r_0 \cdot l = 0,625 \cdot 100 = 62,5 \text{ мОм;} \quad (300)$$

$$R_{КЛ2-0} = r_0 \cdot l = 0,894 \cdot 150 = 134,1 \text{ мОм;} \quad (301)$$

$$R_{КЛ3-0} = r_0 \cdot l = 1,25 \cdot 2,6 = 3,25 \text{ мОм.} \quad (302)$$

Суммарные сопротивления участков:

$$R_1 = R_{QF1} + R_{РУНН} = 0,1 + 15 = 15,1 \text{ мОм;} \quad (303)$$

$$X_1 = X_{QF1} = 0,1 \text{ мОм;} \quad (304)$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{ККЛ1} + R_{КЛ1-0} + R_{КЛ1} + R_{ТА1} + R_{БРУ} = 0,14 + 0,1 + 62,5 + 34 + 0,07 + 20 = 116,81 \text{ мОм;} \quad (305)$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{КЛ1} + X_{ТА1} = 0,15 + 6 + 0,05 = 6,2 \text{ мОм;} \quad (306)$$

$$R_3 = R_{QF3} + R_{ККЛ2} + R_{КЛ2-0} + R_{КЛ2} + R_{ПР} = 1 + 0,1 + 134,1 + 69 + 25 = 229,2 \text{ мОм;} \quad (307)$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{КЛ2} = 0,95 + 9 = 9,95 \text{ мОм;} \quad (308)$$

$$R_4 = R_{QF4} + R_{ККЛ3} + R_{КЛ3-0} + R_{КЛ3} = 1,3 + 0,1 + 3,25 + 1,66 = 6,31 \text{ мОм;} \quad (309)$$

$$X_4 = X_{QF4} + X_{КЛ3} = 1,2 + 0,16 = 1,36 \text{ мОм.} \quad (310)$$

Расчет токов однофазного КЗ.

Точка К1:

Сопротивление петли фаза-ноль до точки КЗ:

$$Z_{\phi-0.К1} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{15,1^2 + 0,1^2} = 15,1 \text{ мОм.} \quad (311)$$

Ток однофазного КЗ:

$$I_{К1}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{тр}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0.К1}} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 15,1} = 7,56 \text{ кА.} \quad (312)$$

Точка К2:

Сопротивление петли фаза-ноль до точки К3:

$$\begin{aligned} Z_{\phi-0.K2} &= \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} = \\ &= \sqrt{(15,1 + 116,81)^2 + (0,1 + 6,2)^2} = 132,06 \text{ мОм}. \end{aligned} \quad (313)$$

Ток однофазного КЗ:

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{тр}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0.K2}} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 132,06} = 1,51 \text{ кА}. \quad (314)$$

Точка К3:

Сопротивление петли фаза-ноль до точки К3:

$$\begin{aligned} Z_{\phi-0.K3} &= \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (X_1 + X_2 + X_3)^2} = \\ &= \sqrt{(15,1 + 116,81 + 229,2)^2 + (0,1 + 6,2 + 9,95)^2} = \\ &= 330,23 \text{ мОм}. \end{aligned} \quad (315)$$

Ток однофазного КЗ:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{тр}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0.K3}} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 330,23} = 0,64 \text{ кА}. \quad (316)$$

Точка К4:

Сопротивление петли фаза-ноль до точки К3:

$$\begin{aligned} Z_{\phi-0.K4} &= \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)^2 + (X_1 + X_2 + X_3 + X_4)^2} = \\ &= \sqrt{(15,1 + 116,81 + 229,2 + 6,31)^2 + \\ &\quad + (0,1 + 6,2 + 9,95 + 1,36)^2} = \\ &= 349,81 \text{ мОм}. \end{aligned} \quad (317)$$

Ток однофазного КЗ:

$$I_{K4}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{тр}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0.K4}} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 349,81} = 0,605 \text{ кА}. \quad (318)$$

Сводная ведомость токов КЗ представлена в таблице 30.

Таблица 30 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ		К1	К2	К3	К4
Токи КЗ, кА	$I_K^{(3)}$	10,18	3,08	1,36	1,33
	$i_{уд}$	18,72	4,36	1,92	1,88
	$I_K^{(1)}$	7,56	1,51	0,64	0,605

## 16 Построение карты селективности действия защитных аппаратов

На рисунке 16 представлена карта селективности.

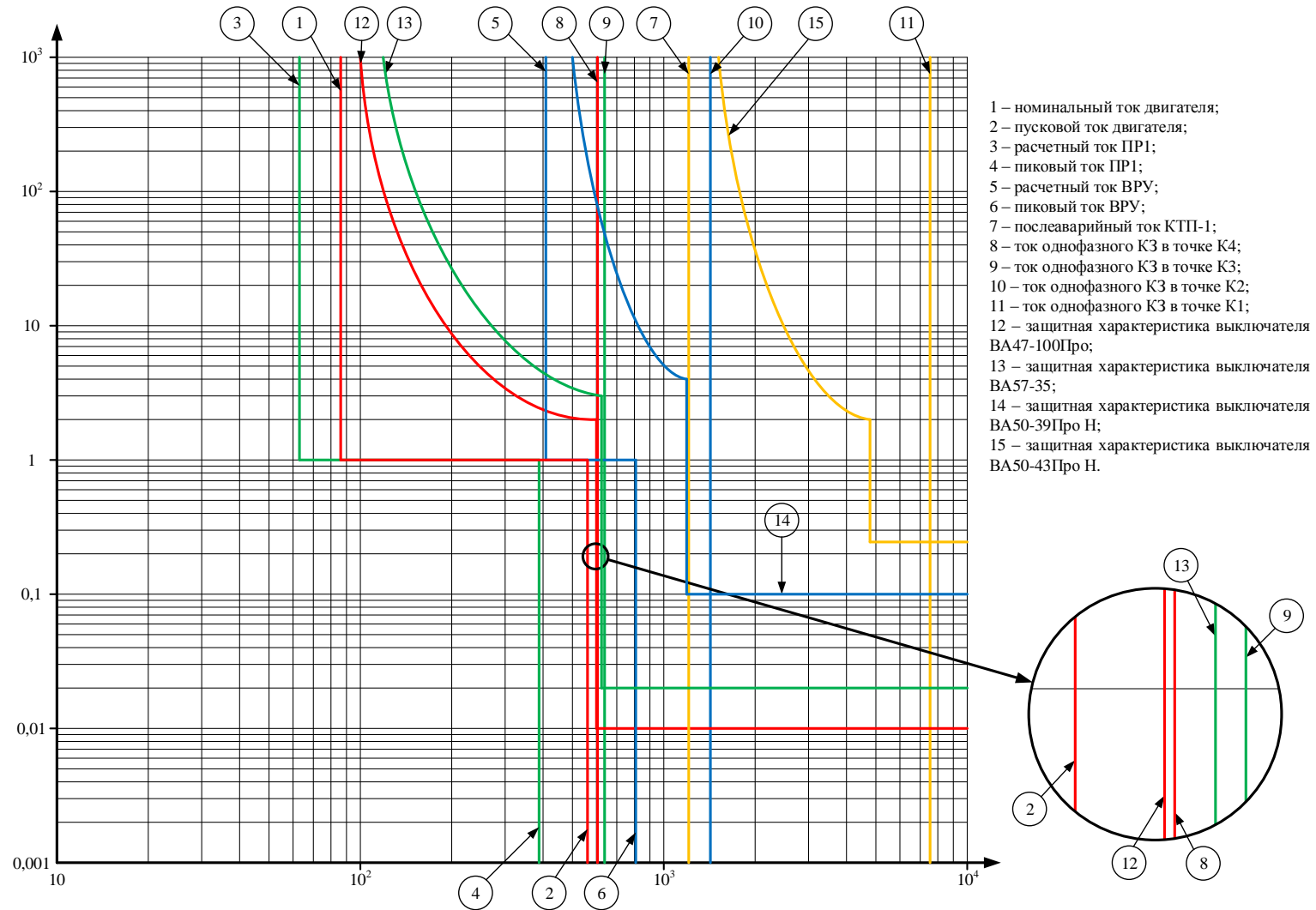


Рисунок 16 – Карта селективности

## 17 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света

Цель данного раздела выпускной работы заключается в определении перспективности и ресурсоэффективности проектируемой системы электроснабжения завода по производству источников света.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

1. Оценка перспективности проекта;
2. Формирование графика работ выполнения работы;
3. Определение общих затрат на проектирование;
4. Определение ресурсоэффективности проекта.

### 17.1 SWOT-анализ

*SWOT-анализ (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)* – один из видов анализа проекта, целью которого является исследование внутренней и внешней среды самого проекта.

*SWOT-анализ* производится в несколько этапов.

На первом этапе заполняется матрица *SWOT-анализа*. В матрицу заносятся сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы его реализации.

Сильные стороны – показатели, определяющие конкурентоспособность проекта.

Слабые стороны – особенности проекта, которые могут создать препятствия для его реализации.

Возможности – всевозможные ситуации, которые могут возникнуть как в настоящее время, так и в будущем, в окружающей среде проекта, ведущие к увеличению спроса и повышению конкурентоспособности.

Угроза – теоретические возможности возникновения неблагоприятных для проекта ситуаций, оказывающих отрицательное влияние на его конкурентоспособность.



Результат составления матрицы *SWOT*-анализа разработки системы электроснабжения завода по производству источников света представлен в таблице 31.

Таблица 31 – Матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны:</b></p> <p>С1. Высокая надежность</p> <p>С2. Универсальность системы электроснабжения</p> <p>С3. Уменьшение затрат на обслуживание электрооборудования</p> <p>С4. Длительный срок эксплуатации</p>	<p><b>Слабые стороны:</b></p> <p>Сл1. Сложность проведения ремонтных работ</p> <p>Сл2. Большой срок поставок комплектующих</p> <p>Сл3. Невысокое энергосбережение</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Расширение производства</p> <p>В2. Появление дополнительной автоматической системы управления</p> <p>В3. Использование современных коммутационных аппаратов</p>	<p>Современные коммутационные аппараты не нуждаются в частых ремонтах и обслуживании, что приводит к значительному уменьшению затрат на обслуживание и увеличению срока эксплуатации.</p> <p>Дополнительные системы управления и современные коммутационные аппараты значительно повышают надежность системы электроснабжения.</p>	<p>Появление автоматических систем управления позволит уменьшить количество аварийных ситуаций в системе, благодаря чему снижается частота ремонта и замены комплектующих электрооборудования.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Возникновение аварийных ситуаций</p> <p>У2. Повреждение электрооборудования</p> <p>У3. Появление на рынке конкурентоспособных проектов</p>	<p>Универсальность спроектированной системы электроснабжения позволяет превзойти новые проекты, появляющиеся на рынке.</p> <p>Высокая надежность системы электроснабжения значительно снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций и, как следствие, повреждения электрооборудования.</p>	<p>Возникающие в системе электроснабжения аварийные ситуации могут вывести из строя высоковольтное оборудование.</p> <p>Более энергосберегающие проекты могут составить конкуренцию на рынке разработанной системе электроснабжения.</p>

Анализ показывает, что проектируемая система имеет несколько значительных преимуществ (применение современного электрооборудования, готовность к расширению производства). Проектируемая схема отличается высокой надежностью и энергоэффективностью, а также готовностью к возникновению аварийных ситуаций.

## 17.2 Планирование проекта

Планирование проектных работ осуществляется в определенном порядке:

- определяется порядок работ в рамках технического исследования;
- определяются исполнители каждой работы;
- устанавливается продолжительность работ;
- осуществляется построение графика проектирования.

Далее создается рабочая группа, в состав которой в данном случае входит руководитель и инженер. Для каждого вида запланированных работ определяется должность ее исполнителей. Готовится список основных пунктов и видов работ в рамках проектирования. Производится распределение участников по видам их работ. Последовательность работ и распределение участников по данным видам работ приведены в таблице 32.

Таблица 32 – План проектных работ

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель

Продолжение таблицы 32

Непосредственное проектирование	5	Проведение расчетов электрических нагрузок завода и отдельного цеха	Инженер
	6	Проектирование системы внутривзаводского электроснабжения завода по производству источников света	Инженер
	7	Проектирование внутрицехового электроснабжения спирального цеха	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности спроектированной системы	Инженер
Контроль и координирование проекта	9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование инженера	Руководитель
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка принципиальных схем	Инженер
Оформление отчета по проектированию	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

Таким образом, проектирование будет производиться в 7 основных этапов, количество отдельных работ – 11. Большую часть работ выполняется инженером.

### 17.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Определение трудоемкости выполнения работ каждого из исполнителей проекта является одним из важных этапов оценки его эффективности, так как именно трудовые затраты зачастую являются основной частью всей стоимости разработки проекта.

Оценка трудоемкости носит вероятностный характер, так как зависит от множества факторов, учитывать которые непросто. Трудоемкость оценивается в человеко-днях.

Расчет основных значений определения трудоемкости выполнения работ показан на примере работы №5 – проведение расчетов электрических нагрузок завода и отдельного цеха.

Среднее (ожидаемое) значение трудоемкости

$$t_{\text{ож5}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min5}} + 2 \cdot t_{\text{max5}}}{5} = \frac{3 \cdot 14 + 2 \cdot 24}{5} = 18 \text{ чел-день}, \quad (319)$$

где  $t_{\text{min5}}$  – минимально возможная трудоемкость проведения расчетов электрических нагрузок завода и отдельного цеха, чел-день;

$t_{\text{max5}}$  – максимально возможная трудоемкость проведения расчетов электрических нагрузок завода и отдельного цеха, чел-день.

Продолжительность работы в рабочих днях

$$T_{\text{р5}} = \frac{t_{\text{ож5}}}{\text{Ч}_5} = \frac{18}{1} = 18 \text{ дней}, \quad (320)$$

где  $\text{Ч}_5$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для дальнейшего пересчета продолжительности работы из рабочих дней в календарные рассчитывается календарный коэффициент

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,5. \quad (321)$$

Продолжительность работы в календарных днях

$$T_{\text{к}} = k_{\text{кал}} \cdot T_{\text{р}} = 1,5 \cdot 18 = 27 \text{ дней}. \quad (322)$$

Расчет продолжительности оставшихся работ производится аналогично. Результат расчета представлен в таблице 33.

Таблица 33 – Временные показатели проведения проекта

№ работы	Трудоемкость работ, чел-день						Продолж.в рабочих днях		Продолж. в календарных днях	
	$t_{\text{mini}}$ , чел-день		$t_{\text{maxi}}$ , чел-день		$t_{\text{ожи}}$ , чел-день					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	3	–	8	–	5	–	5	–	8	–
2	–	6	–	9	–	7,2	–	7,2	–	11

Продолжение таблицы 33

3	–	2	–	3	–	2,4	–	2,4	–	4
4	1	–	3	–	1,8	–	1,8	–	3	–
5	–	14	–	24	–	18	–	18	–	27
6	–	14	–	24	–	18	–	18	–	27
7	–	14	–	24	–	18	–	18	–	27
8	–	2	–	3	–	2,4	–	2,4	–	4
9	4	–	7	–	5,2	–	5,2	–	8	–
10	–	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	4
11	–	3	–	7	–	4,6	–	4,6	–	7

Диаграмма Ганта для данных временных показателей представлена на рисунке 17.

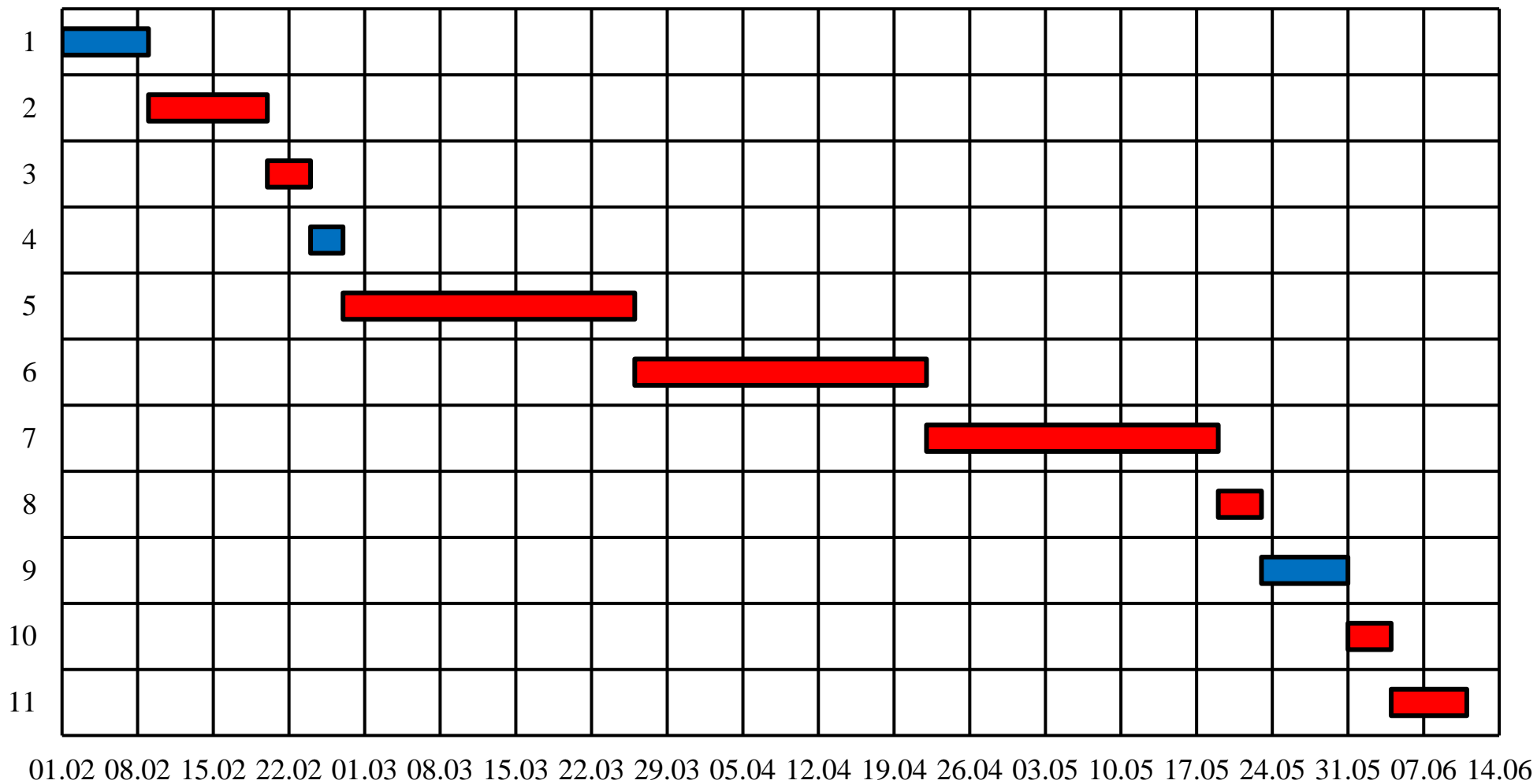


Рисунок 17 – Диаграмма Ганта проекта (красный – инженер, синий – руководитель)

Исходя из полученных данных, видно, что продолжительность работ составит 18,5 недель. Так как оценка продолжительности работ носит вероятностный характер, то при различных обстоятельствах длительность выполнения проекта может как уменьшиться, так и увеличиться.

По диаграмме Ганта заранее оцениваются показатели рабочего времени для всех исполнителей. Длительность выполнения проекта составит 128 дней:

- 110 дней – длительность проведения работ инженером;
- 18 дней – длительность проведения работ руководителем.

#### 17.4 Бюджет проекта

Размер затрат проекта является основой для определения его бюджета, который при составлении договора с заказчиком защищается научной организацией в виде нижнего предела затрат на создание научно-технической продукции.

Для формирования затрат проекта используются следующие виды затрат:

- материальные затраты;
- накладные расходы;
- основная заработная плата участников проекта;
- дополнительная заработная плата участников проекта;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

##### 17.4.1 Расчет материальных затрат проекта

К материальным затратам относятся: покупные материалы, канцелярские принадлежности, краска и т.д. Материальные затраты для данного проекта представлены в таблице 34.



Таблица 34 – Материальные затраты на проект

Наименование	Ед. изм-ия	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	пачка	1	227	227
Ручки	шт.	4	20	80
Мультифоры	шт.	10	2	20
Краска	шт.	1	980	980
Скоросшиватель	шт.	3	10	30
<b>Итого:</b>				<b>1337</b>

#### 17.4.2 Основная заработная плата (ЗП) исполнителей

Основная ЗП – оплата труда всех участников проекта.

Определяем расходы за заработную плату опираясь на трудоемкости выполняемых видов работ.

Основная заработная плата руководителя (сотрудника ТПУ) определяется на основании отраслевой оплаты труда.

Заработная тарифная ставка за месяц работы без районного коэффициента составляет [10]:

- руководитель (доцент, д.т.н.) – 31000 рублей;
- инженер (ассистент, без ученой степени) – 17000 рублей.

Пример расчета заработной платы руководителя проекта приведен ниже [11].

Месячный оклад

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 31000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 60450 \text{ руб.} \quad (323)$$

где  $Z_{тр}$  – ЗП по тарифной ставке, руб;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_p$  – районный коэффициент для г. Томска.

Среднедневная ЗП

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{60450 \cdot 10,4}{365 - 66 - 48} = 2505 \text{ руб.} \quad (324)$$

где  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Основная ЗП

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 2505 \cdot 12 = 30060 \text{ руб,} \quad (325)$$

где  $T_p$  – продолжительность работы, раб.дн.;

Дополнительная ЗП

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 30060 = 3607 \text{ руб,} \quad (326)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной ЗП.

Полная ЗП

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 30060 + 3607 = 33667 \text{ руб.} \quad (327)$$

ЗП инженера рассчитывается аналогично. Результат расчета приведен в таблице 35.

Таблица 35 – Расчёт ЗП участников проекта

Раб.	$Z_{\text{тс}}^?$ руб	$k_{\text{пр}}$	$k_d$	$k_p$	$Z_{\text{м}}^?$ руб	$Z_{\text{дн}}^?$ руб	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}^?$ руб	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{доп}}^?$ руб	Итого
Р	31000	0,3	0,2	1,3	60450	2505	12	30060	0,12	3607	33667
И	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1350	73,4	99090	0,12	11891	110981

#### 17.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В этом разделе отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников [10].

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}). \quad (328)$$

Результаты вычислений представлены в таблице 36.

Таблица 36 – Отчисления во внебюджетные фонды

	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	30060	99090
Дополнительная заработная плата, руб.	3607	11891
Итого отчисления во внебюджетные фонды:	10100	33294

#### 17.4.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, интернета и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{мат}}) \cdot k_{\text{нр}} = (129150 + 15498 + 43394 + 1337) \cdot 0,16 = 30301 \text{ руб.} \quad (329)$$

#### 17.4.5 Формирование затрат проекта

Для формирования бюджета затрат проекта опираемся на рассчитанную величину затрат работы (проекта). При составлении договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку необходимой продукции.

Таблица 37 – Бюджет затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.	в % к итогу
1. Материальные затраты	1337	0,61
2. Затраты по основной заработной плате	129150	58,79
3. Затраты по дополнительной заработной плате	15498	7,05
4. Отчисления во внебюджетные фонды	43394	19,75
5. Накладные расходы	30301	13,80
<b>Бюджет затрат проекта</b>	<b>219680</b>	<b>100</b>

#### 17.4.6 Затраты на комплектацию главной понижающей подстанции

Перечень высоковольтного оборудования ГПП, в соответствии с принципиальной электрической схемой, с указанием его стоимости приведен в таблице 38.

Таблица 38 – Перечень высоковольтного оборудования ГПП

Обозначение	Тип	Кол-во	Стоимость одной шт., руб
<i>FU1, FU2</i>	ПКН001-35 У1	2	7160 [12]
<i>FU3, FU4</i>	ПКТ 101-10-20-12,5 У3	2	1020 [12]
<i>FU5, FU6</i>	ПКН001-10 У3	2	1002 [12]
<i>FV1...FV4</i>	ОПН-П1-35/40,5/10/2 УХЛ1	4	8200 [12]
<i>FV5, FV6</i>	ОПН-П1-10/12/10/2 УХЛ1	2	1360 [12]
<i>Q1, Q2</i>	ВГБ-35-12,5/630А УХЛ1	2	1386000 [13]
<i>Q3...Q13</i>	<i>BB/TEL-10-20/1000 У2</i>	11	145000 [14]
<i>QS1, QS2, QS4, QS5</i>	РНДЗ.2-35/1000 У1	4	125000 [15]
<i>QS3, QS6...QS8</i>	РНДЗ.1-35/1000 У1	4	95000 [15]
<i>QS9, QS10</i>	РВ-10/400 У3	2	8700 [12]
<i>T1, T2</i>	ТМН-4000/35 У1	2	1800000 [16]
<i>T3, T4</i>	ТМ-160-10/0,4 У2	2	135000 [12]
<i>TA1, TA2</i>	Входят в стоимость выключателей	2	–
<i>TA3, TA4</i>	ТОЛ-10 УХЛ2.1	2	10490 [12]
<i>TV1, TV2</i>	НАМИ-35-0,5-УХЛ1	2	243350 [17]
<i>TV3, TV4</i>	НАМИ-10 УХЛ2	2	57200 [17]
ИТОГО	–	47	9810364

Суммарные затраты на ГПП

$$Z_{\text{ГПП}} = Z_{\text{выс.об}} + Z_{\text{пр.об}} + Z_{\text{дост}} + Z_{\text{монт}} = 9810364 + 0,05 \cdot 9810364 + 0,05 \cdot 9810364 + 0,2 \cdot 9810364 = 12753473 \text{ руб,} \quad (330)$$

где  $Z_{\text{выс.об}}$  – стоимость высоковольтного оборудования ГПП, руб;

$Z_{\text{пр.об}}$  – стоимость прочего оборудования ГПП, руб;

$Z_{\text{дост}}$  – затраты на доставку оборудования, руб;

$Z_{\text{монт}}$  – затраты на монтаж, руб.

## 17.5 Ресурсоэффективность

Ресурсоэффективность проекта определяется с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности.

Данные для расчета интегрального показателя ресурсоэффективности представлены в таблице 39.

Таблица 39 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Удобство обслуживания	0,13	4
3. Помехоустойчивость	0,10	4
4. Энергосбережение	0,12	3
5. Надежность	0,25	5
6. Материалоемкость	0,15	3
<b>Итого:</b>	<b>1,00</b>	4

Показатель ресурсоэффективности

$$I_p = \sum a_i \cdot b_i = 0,25 \cdot 5 + 0,13 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,12 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 = 4,23. \quad (331)$$

В рамках данного раздела выпускной квалификационной работы была произведена оценка перспективности системы электроснабжения завода по производству источников света с помощью *SWOT*-анализа, который показал, что использование в качестве высоковольтной аппаратуры современных коммутационных аппаратов может значительно увеличить надежность системы и уменьшить затраты на ремонт и обслуживание электрооборудования.

Планирование показало, что длительность проектирования составила 128 дней, из которых 110 дней занимают работы, производимые инженером и 18 дней – руководителем. Наиболее длительная часть проекта связана с непосредственными расчетами нагрузок и разработкой схем электроснабжения.

Бюджет проекта составил 219680 рублей, большая часть которого 129150 рублей (58,79%) составляет основную заработную плату исполнителям работ. Материальные затраты составили 1337 рублей, дополнительная ЗП –

15498 рублей, отчисления во внебюджетные фонды – 43394 рубля и накладные расходы – 30301 рубль.

Стоимость высоковольтного электрооборудования главной понижающей подстанции составила 9810364 рубля. Суммарные затраты на ГПП – 12753473 рубля.

Рассчитанный показатель ресурсоэффективности – 4,23. Это показывает, что многие характеристики проекта, такие как надежность, экономичность и т.д., находятся на высоком уровне.

Исходя из всего вышесказанного, спроектированная система электроснабжения завода по производству источников света, а также схема электроснабжения спирального цеха могут считаться успешными, благодаря своей высокой надежности, выбору современной коммутационной аппаратуры и универсальности.

## 18 Социальная ответственность при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света

Целью данного раздела является оценка условий труда электротехнического персонала (инженера и руководителя) при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света, а также анализ и разработка мер защиты от вредных и опасных факторов, решение вопросов пожарной и социальной безопасности, охраны окружающей среды, защиты персонала в чрезвычайных ситуациях.

Объектом исследования является система электроснабжения завода по производству источников света, основным инструментом проектирования которой является ПЭВМ, при работе с которой необходимо соблюдать правильный режим труда. Вредные и опасные факторы производственной среды – воздействие электромагнитных полей от электрооборудования и техники, находящихся непосредственно на рабочем месте, инфракрасное и ионизирующее излучения от экранов, шум и электрический ток. Работа с компьютером характеризуется следующими негативными особенностями для рабочего персонала: высокой напряженностью зрительной работы. Для минимизации нагрузок необходимо контролировать уровень освещения на рабочем месте, время работы и выбирать правильное расположение рабочего места.

### 18.1 Анализ вредных и опасных факторов при разработке системы электроснабжения

Так как проектирование системы электроснабжения завода по производству источников света производится при использовании компьютерной техники, то возможные опасные факторы анализируются именно при работе с данным устройством. Перечень опасных и вредных факторов приведен в таблице 40.

Таблица 40 – Перечень опасных и вредных факторов при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света [18]

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (согласно ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с компьютерной техникой	1. Отклонение показателей микроклимата; 2. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны, отсутствие или недостаток естественного света; 4. Повышенный уровень электромагнитного и ионизирующего излучения.	1. Электрический ток.	Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4.548-96 [19] Параметры шума в помещении устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [20] Параметры освещения устанавливаются СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [21] Уровень электромагнитного излучения регламентируется СанПиН 2.2.4.1191–03 [22] Электробезопасность регламентируется ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ [23], а также ПУЭ и МПОТ[24]

### 18.1.1 Параметры микроклимата

Источником тепловыделений является непосредственно ПК, который может привести к снижению влажности в рабочем помещении и повышению температуры окружающей среды. Требования к помещению с ПЭВМ согласно [25, пункт 4.2] при различных параметрах приведены в таблице 41.

Таблица 41 – Оптимальные параметры микроклимата во всех типах учебных и дошкольных помещений с использованием ПЭВМ [25]

Температура, °С	Относительная влажность, %	Абсолютная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	10	< 0,1
20	58	10	< 0,1
21	55	10	< 0,1

В [19] определены величины параметров микроклимата, вызывающие комфортные условия, приведенные в таблице 42. Так же, согласно данному



источнику, работа за компьютером относится к категории Ia – это такой тип работ, которые производятся сидя и сопровождаются незначительным физическим напряжением.

Таблица 42 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах ПП [19]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холод.	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений приведены в таблицах 43 и 44 [19].

Таблица 43 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [19]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0

Таблица 44 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [19]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, М/с	
				Для диапазона температур ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур выше оптимальных величин
Холод.	Ia (до 139)	19,0-26,0	15-75*(2)	0,1	0,1
Теплый	Ia (до 139)	20,0-29,0	15-75*(2)	0,1	0,1

Определенные допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тел рабочего персонала от источников приведены в таблице 45 [19].

Таблица 45 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения [19]

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, 2 Вт/м, не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Согласно [19], при присутствии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочем месте не должна превышать 25°C. При 8- часовом рабочем дне температура воздуха на рабочем месте при категории работ Ia должна лежать в пределах 20-28 °С.

#### 18.1.2 Производственный шум на рабочем месте

Допустимые значения уровней звукового давления, создаваемого источником, которым является ПК, приведены в таблице 46.

Таблица 46 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ [25]

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

Уровень шума для инженера, работающего за компьютером не должен превышать значения, равного 50 дБА.

#### 18.1.3 Электромагнитные поля

В таблице 47 представлены допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от экрана персонального компьютера с учетом того, что в рабочем помещении используется ПК с ЖК-монитором. Интенсивность ультрафиолетового и инфракрасного излучений от

экрана данного монитора допускается в пределах 10-100 мВт/м<sup>2</sup>. В таблице 48 представлены временные допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПК.

Таблица 47 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений [27]

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать: для взрослых пользователей	20 кВ/м

Таблица 48 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПК на рабочих местах [25]

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

#### 18.1.4 Освещение

Правильно спроектированное и выполненное освещение на рабочем месте обеспечивает возможность плодотворной и комфортной производственной деятельности. Наилучшим видом освещения является естественное дневное. Искусственное освещение несет определенную нагрузку на зрительные органы персонала, работающего в данном помещении.

Согласно [21], нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещений основного рабочего места представлены в таблицах 49, 50 и 51.

Таблица 49 – Нормируемые показатели естественного освещения производственных помещений [21]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение	
		КЕО, %	
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
Помещения для работы с дисплеями	Г-0,8 Экран монитора: В-1,2	3,5 -	1,2 -

Таблица 50 – Нормируемые показатели искусственного освещения производственных помещений [21]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Искусственное освещение			
		Освещенность, лк			Коэфф. пульсации освещенности, Кп, %, не более
		При комб. освещении		при общ. освещении	
		всего	от общего		
Помещения для работы с дисплеями	Г-0,8 Экран монитора: В-1,2	500	300	400	10
		-	-	200	-

Таблица 51 – Нормируемые показатели совмещенного освещения производственных помещений [21]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Совмещенное освещение	
		КЕО, %	
		при верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении
Помещения для работы с дисплеями	Г-0,8 Экран монитора: В-1,2	2,1	0,7
		-	-

### 18.1.5 Электроопасность

Опасным фактором на рабочем месте является наличие большого числа однофазного электрооборудования и возможность поражения электрическим током.

Перед началом работы за компьютером инженер или руководитель должны убедиться в исправности электрических проводов, питающих составные части ПК, всех имеющихся выключателей и розеток, отсутствия на корпусе устройства посторонних предметов, бумаги. Все вентиляционные отверстия в месте включаемого оборудования должны быть открыты.

Классифицируя помещения по степени опасности поражения персонала электрическим током, можно прийти к выводу, что данное помещение без повышенной опасности, в нем отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность [3].

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 52 [29].

Таблица 52 – Допустимые значения напряжения и токов прикосновения [29]

Род тока	$U$ , В	$I$ , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Примечания: 1 – напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки и установлены, исходя из реакции ощущения; 2 – напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25°C) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза		

### 18.2 Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов

Повышенный уровень шума понижает качество условия труда, создавая при этом вредное воздействие на органы человеческого тела. При работе в условиях достаточно длительного шумового воздействия инженер или руководитель могут испытывать головную боль, раздражение и т.п. Все

это способствует ухудшению работоспособности и качества выполняемой работы.

Длительное пользование ПК может оказывать негативное воздействие на центральную нервную систему, а воздействие электромагнитных полей на организм электротехнического персонала, находящегося вблизи их источника может привести к возникновению различных болезней.

К средствам нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест инженера и руководителя можно отнести: источники света, осветительные приборы, световые проемы, светозащитные устройства и светофильтры.

Для понижения воздействия электромагнитного излучения необходимо использовать мониторы с низким уровнем излучения, применять защитные экраны.

Средствами коллективной защиты от повышенной и пониженной температур и ее перепадов являются устройства: оградительные, автоматического контроля и сигнализации и термоизолирующие.

К средствам защиты от повышенного уровня ионизирующих и инфракрасных излучений относятся оградительные, предупредительные и герметизирующие устройства, а также защитные покрытия.

Для понижения уровня шума помещение необходимо облицевать звукопоглощающими материалами.

К средствам индивидуальной и групповой защиты от повышенного уровня электромагнитных излучений и полей относят: оградительные устройства, защитные покрытия и герметизирующие устройства [28].

Согласно [29], в стационарных электроустановках трехфазного тока в сети с заземленной нейтралью или заземленным выводом однофазного источника питания электроэнергетики, а также с заземленной средней точкой в трехпроводных сетях постоянного тока должно быть выполнено зануление для защиты работающего персонала, так как основное назначение заземления

– это снижение напряжения прикосновения до безопасной величины. При занулении фазные и нулевые защитные проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой проводник возникал ток короткого замыкания, обеспечивающий отключение автомата или плавление плавкой вставки ближайшего защитного предохранителя.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены выводы однофазного ИП электроэнергии, с учетом естественных заземлителей и повторных заземлителей нулевого провода должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно, при междуфазных напряжениях 380, 220 и 127В однофазного ИП [29].

В качестве защиты от поражения электрическим током, сотрудникам необходимо плановое прохождение инструктажа по технике безопасности.

### 18.3 Экологическая безопасность при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света

Прямого негативного воздействия на окружающую среду при работе с использованием ПК не наблюдается, но в его состав входит большое число компонентов, которые содержат токсичные вещества, представляющие угрозу как для здоровья человека, так и для окружающей его среды.

К таким веществам относят свинец, поражающий центральную нервную систему, ртуть, поражающую мозг, а также никель и цинк, которые способны вызвать дерматит.

При утилизации ПК необходимо отделить металлические части от неметаллических, чтобы переплавить первые в сырье для вторичного производства, а вторые подвергнуть специальной и безопасной для окружающей среды переработке.

В современной промышленности осуществляется плавный переход к малоотходной технологии, однако, учитывая тот факт, что данная технология требует больших затрат из-за более сложного конструктивного исполнения, применение ее ограничено [30].

Твердые бытовые отходы, оставшиеся от работы (например, бумага, ручки и др.) следует утилизировать в мусорное ведро, расположенное непосредственно в кабинете или на территории предприятия или специализированный контейнер, предназначенный для твердых бытовых отходов.

18.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света

Возможными чрезвычайными ситуациями при работе за ПК могут быть: пожар, поражение электрическим током, взрыв, наводнение, паводки и обрушение помещения. Наиболее вероятным является пожар [31, 32].

При неправильной эксплуатации электрооборудования и КЗ электрической цепи может произойти возгорание, которое понесет большие экономические потери и уничтожение важных бумаг, материалов.

Система обеспечения пожарной безопасности, которую обязан иметь каждый объект, согласно техническому регламенту, включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты и комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. Рабочее помещение (кабинет) относится к категории В, согласно [33] (горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы способные только гореть).

Необходимо проводить пожарно-профилактические мероприятия следующего плана: организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта, эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования, технические и конструктивные, связанные с правильные размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия включают в себя:

1. Плановый противопожарный инструктаж обслуживающего персонала и руководителей;



2. Обучение обслуживающего персонала правилам техники пожарной безопасности;

3. Применение различных инструкций, демонстрационных плакатов, обязательных планов эвакуации при ЧС.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение эксплуатационных норм электрооборудования;

2. Обеспечение свободного подхода к любому виду электрооборудованию;

3. Проверка состояния изоляции токоведущих проводников, питающих электродвигатели и иные технологические установки.

К техническим мероприятиям относят соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, электрооборудования, вентиляции и систем отопления. В коридоре должен находиться порошковый огнетушитель типа ОП-5, общий рубильник, на двери обязательно приведен план эвакуации в случае пожара, а пожарный щит находится в доступной досягаемости для возможности максимально быстрого времени реакции персонала.

Самым дешевым способом пожаротушения является обычная вода, поступающая по трубам водопровода. В коридоре присутствуют специализированные рукава, расположенные в шкафах, также в пунктах первичных средств пожаротушения обязательны к наличию ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Для устранения возгорания в электроустановке должны применяться углекислотные огнетушители ОУ-2 или порошковые типа ОП-5. Должны быть предусмотрены пути эвакуации людей в случае пожара, данные пути не должны быть преграждены электроприборами, столами или иными крупногабаритными приборами и устройствами. Данные мероприятия обеспечат безопасную эвакуацию людей из помещения, ограничат пути распространения огня и дыма и создадут необходимые условия для пожаротушения [34].

18.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при проектировании системы электроснабжения завода по производству источников света

Согласно [35], место для работы за ПК и взаиморасположение всех его элементов должно соответствовать физическим, антропометрическим и психологическим требованиям выполняющего работу человека. При устройстве рабочего места инженера, работающего за компьютером, необходимо соблюсти следующие основные условия: выбрать наилучшее местоположение оборудования и обеспечить свободное рабочее пространство.

Основными элементами рабочего места являются стол и стул, так как основное рабочее положение – это положение сидя. Рациональная планировка рабочего места определяет порядок и местоположение предметов, в особенности тех, которые для работ необходимы чаще.

Высота рабочей поверхности должна находиться в пределах 680-760 мм. Высота поверхности с клавиатурой – 650 мм. Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола расположена в пределах 420-550 мм. Сиденье должно быть мягким, передний край закругленным, а спинка – регулируемой. Положение монитора определяется расстоянием считывания (0,6...0,7 м) и углом считывания (20°). Также необходимо предусмотреть возможность регулирования монитора [35]. Рабочее место пользователя компьютера следует оборудовать подставкой для ног [25].

Согласно [25, п. 13.1], лица, работающие за компьютером более 50% рабочего времени, должны проходить медосмотры. В силу ст.213 ТК РФ, данные медицинские осмотры проводятся за счет средств работодателя. Лица, работающие за компьютером не менее 50% рабочего времени, один раз в два года должны проходить осмотр у невролога и офтальмолога.

Работники вправе рассчитывать на повышенную оплату труда. Согласно ст.147 ТК РФ, минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями

труда, составляет 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда.

Постановление Правительства РФ от 20.11.2008 №870 устанавливает сниженную продолжительность рабочего времени – до 36 часов в неделю и повышение оплаты труда не менее чем на 4% тарифной ставки (оклада), установленной для различных работ с нормальными условиями труда.

## Заключение

В ходе выполнения курсового проекта была спроектирована внутризаводская система электроснабжения завода по производству источников света, а также внутрицеховая система электроснабжения спирального цеха.

В ходе проектирования схемы внутризаводского электроснабжения был рассчитан ЦЭН, в который в дальнейшем была размещена главная понижающая подстанция. Напряжение высокой стороны ГПП 35 кВ. Был произведен технико-экономический расчет количества и месторасположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности, результат которого представлен на рисунке 6.

В ходе проектирования схемы внутрицехового электроснабжения был принят вариант радиального исполнения схемы, т.к. помещение спирального цеха характеризуется как пыльное, жаркое. Для защиты низковольтного оборудования были выбраны автоматические выключатели ВА.

## Список использованных источников

1. Кабышев, А.В. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие и справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 248 с.
2. Сумарокова, Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие / Л.П. Сумарокова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 288 с.
3. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2009. – 853 с.
4. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учебное пособие / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – 5-е изд., стер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 608 с.
5. Кабышев, А.В. Молниезащита электроустановок систем электроснабжения: учебное пособие / А.В. Кабышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 124 с.
6. АО «Чебоксарский электроаппаратный завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cheaz.ru/ru/>. – (Дата обращения: 15.03.2018).
7. Российская группа компаний «Таврида Электрик» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tavrida.com/ter/>. – (Дата обращения: 15.03.2018).
8. Завод Контактор: ТМ Группы «Legrand» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kontaktor.ru>. – (Дата обращения: 01.04.2018).
9. Рудничное электрооборудование для горнодобывающих компаний ШЭЛА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.shela71.ru>. – (Дата обращения: 29.03.2018).
10. Корпоративный портал ТПУ – Регламентирующие документы [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://portal.tpu.ru:7777/departments/otdel/peo/documents/> – (Дата обращения: 29.04.2018).

11. Видяев И. Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И. Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гавриков. – Томск: Издательство ТПУ, 2014. – 36 с.

12. Уралэнерго [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uralen.ru/> – (Дата обращения: 29.04.2018).

13. АО «Уралэлектротяжмаш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uetm.ru/> – (Дата обращения: 29.04.2018).

14. Группа компаний «Энергомонтаж» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e-tmm.tiu.ru/> – (Дата обращения: 29.04.2018).

15. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учебное пособие / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – 5-е изд., стер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 608 с.

16. RU-TRANSFORMATOR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru-transformator.ru/> – (Дата обращения: 29.04.2018).

17. ООО «Торгово-монтажное предприятие «Энергия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tmpenergy.com/> – (Дата обращения: 29.04.2018).

18. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

19. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

20. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.

21. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Естественное и искусственное освещение.

22. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
23. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
24. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (МПОТ).
25. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
26. СанПиН 2.2.4.1191–03. Электромагнитные поля в производственных условиях.
27. СанПиН 2.2.2.542-96. Гигиенические требования к видео дисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
28. ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
29. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
30. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1991.
31. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.
32. ГОСТ Р 22.3.03-97. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
33. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
34. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
35. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

## Приложения



# Приложение А

## Схема электрическая принципиальная выше 1000В

