

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Разработка системы электроснабжения мясокомбината с детальной проработкой цеха полуфабрикатов

УДК 658.26

**Студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Д	Айдемиров Даниял Шамилевич		

**Руководитель ВКР:**

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Е.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

## Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код резул ь-тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-1, 3; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>	Требования ФГОС (ОК-3; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности, связанной с автоматизированными системами диспетчерского управления в электроэнергетике.</i>	Требования ФГОС (ОПК-4; ПК- 4-6) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P6	<i>Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа при проектировании, эксплуатации и обслуживании автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.</i>	Требования ФГОС (ПК-1, 7,8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС (направление 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ № 1500 от 21.11.2014 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Р7	Выполнять инновационные <i>инженерные проекты</i> по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием современных методов проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных систем.	Требования ФГОС (ПК-2, 9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
Р8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области автоматизированных систем управления электроэнергетических систем, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
Р9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; осуществлять профессиональную деятельность руководствуясь требованиями стандартов и рынка; разрабатывать планы и программы организации профессиональной деятельности на предприятии; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-20, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
Р10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные</i> , наладочные работы оборудования и программного обеспечения по профилю профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
Р11	<i>Осваивать новое оборудование и программное обеспечение в сфере автоматизации диспетчерского управления</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс эксплуатируемых программно-технических комплексов и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>
Р12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_ 2020 г. В.В. Шестакова

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

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Д	Айдемирову Даниялу Шамиловичу

Тема работы:

Разработка системы электроснабжения мясокомбината с детальной проработкой цеха полуфабрикатов
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 58-26/с от 27.02.2020
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является цех полуфабрикатов Великолукского мясокомбината. В качестве исходных данных представлены:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- генеральный план завода;</li> <li>- план цеха полуфабрикатов;</li> <li>- сведения об электрических нагрузках завода;</li> <li>- сведения об электрических нагрузках цеха полуфабрикатов.</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Введение;</li> <li>- Общие сведения об объекте электроснабжения;</li> <li>- Электроснабжение объектов на территории предприятия;</li> <li>- Внешнее электроснабжение предприятия</li> <li>- Электроснабжение промышленных потребителей в здании цеха полуфабрикатов;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>- Социальная ответственность;</li> <li>- Заключение.</li> </ul>
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Картограмма электрических нагрузок; Генплан предприятия с размещенными объектами электроснабжения; Принципиальная схема электроснабжения предприятия; Распределительная внутрицеховая сеть; Однолинейная схема электроснабжения цеха полуфабрикатов; Эпюра отклонения напряжения с картой селективности;
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Мезенцева И.Л.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Е.С.

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Д	Айдемиров Даниял Шамилевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А6Д	Айдемирову Даниялу Шамилевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Тема ВКР: «Разработка системы электроснабжения Великолукского мясокомбината с детальной проработкой цеха полуфабрикатов»**

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %</i>

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

<i>1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>1. Анализ конкурентных технических решений, SWOT – анализ.</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>2. Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта</i>
<i>3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	<i>3. Определение затрат на проектирование</i>
<i>4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>4. Определение капиталовложений электроснабжения завода</i>
<i>5. Оценка ресурсной эффективности ИР</i>	<i>5. Определение эксплуатационных затрат; расчет интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

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

<i>1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i>
<i>2. Календарный план-график проведения работ по проектированию электроснабжения завода</i>
<i>3. Капиталовложения в электроснабжение завода</i>
<i>4. Бюджет затрат на проектирование электроснабжения завода</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	13.04.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		13.04.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А6Д	Айдемиров Даниял Шамилевиц		13.04.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5А6Д	Айдемирову Даниялу Шамилевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	<b>13.03.02«Электроэнергетика и электротехника»</b>

**Тема ВКР:**

**Разработка системы электроснабжения Великолукского мясокомбината с детальной проработкой цеха полуфабрикатов**

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом исследования является система электроснабжения Великолукского мясокомбината. Предприятие специализируется на разведении и селекции животных, производстве кормов, мясопереработке и реализации готовой продукции.
---	--

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

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</li> <li>2. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ;</li> <li>3. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ;</li> <li>4. СП 52.13330.2016;</li> <li>5. СН 2.2.4/2.1.8.562–96;</li> <li>6. СН 2.2.4/2.1.8.566–96;</li> </ol>
<b>2. Производственная безопасность</b> 2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Механические травмы</li> <li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>– Повышенное значение показателя шума</li> <li>– Повышенный уровень вибрации</li> <li>– Отклонение показателей микроклимата</li> <li>– Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Выбросы вредных отходов в атмосферу, литосферу и гидросферы.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ЧС техногенного характера: пожары, взрывы, внезапное разрушение зданий и сооружений и т.п.</li> <li>– Наиболее типичная ЧС – пожар.</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	13.04.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассисент ООД	Мезенцева И.Л.			13.04.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А6Д	Айдемиров Даниял Шамилевич		13.04.2020

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.02.2020	<i>Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет нагрузок цеха</i>	10
20.02.2020	<i>Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и заводу в целом. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния его рассеяния.</i>	15
07.03.2020	<i>Выбор и проверка внутрив заводских линий. Расчет потерь в КТП и внутрив заводских линиях. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП. Выбор и проверка питающих линий ГПП.</i>	15
26.03.2020	<i>Выбор количества, мощности и расположения трансформаторных подстанций.</i>	10
28.03.2020	<i>Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутрив заводских линий по токам КЗ.</i>	5
04.04.2020	<i>Выбор и проверка высоковольтного оборудования</i>	10
11.04.2020	<i>Выбор распределительных пунктов в сети до 1000В. Расчет токов КЗ в сети до 1000В. Выбор аппаратов защиты и построение карты селективности действия защитных аппаратов. Построение эюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП.</i>	10
15.05.2020	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</i>	15
18.05.2020	<i>Социальная ответственность</i>	10
	<i>Итого</i>	100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 95 страниц, 17 рисунков, 31 таблиц, 6 приложений, 35 источников.

Ключевые слова: электроснабжение цеха, расчетная нагрузка, картограмма нагрузок, выбор трансформаторов, компенсация реактивной мощности, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка оборудования, карта селективности, ресурсосбережение, социальная ответственность.

Объект исследования – Великолукский мясокомбинат, цех полуфабрикатов.

Цель работы: проектирование системы электроснабжения Великолукского мясокомбината, технико-экономические обоснования принятых решений.

В ходе работы необходимо:

- определить расчетную нагрузку предприятия, опираясь на исходные данные; учесть осветительную нагрузку цехов и территории предприятия, учесть потери мощности в цеховых трансформаторах, в трансформаторах ГПП и в линиях;
- построить картограмму электрических нагрузок;
- выбрать схему электроснабжения завода;
- выбрать напряжение питающей сети предприятия, сечения кабельных линий, мощность трансформаторов ГПП;
- произвести расчет токов короткого замыкания сетей выше и ниже 1000 В.

Расчет электрических нагрузок цеха полуфабрикатов совершен по методу коэффициента расчетной активной мощности. Полные расчетные мощности остальных цехов завода и полная мощность предприятия были найдены с помощью метода коэффициента спроса.

# Оглавление

Введение .....	1
1. Общие сведения об объекте электроснабжения .....	2
1.1. Роль предприятия в хозяйственной деятельности .....	2
1.2. Технологический процесс .....	2
1.3. Инженерные изыскания.....	3
1.3.1. Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности .....	3
1.3.2. Инженерные изыскания по климатическим условиям местности.....	4
1.3.3. Инженерные изыскания по гидрологическим условиям местности.....	4
1.4. Особенности электроснабжения предприятия .....	4
1.5. Исходные данные .....	5
2. Электроснабжение объектов на территории предприятия.....	9
2.1. Определение расчетной нагрузки цеха .....	9
2.2. Расчет электрических нагрузок предприятия.....	14
2.3. Картограмма электрических нагрузок .....	18
2.4. Распределение источников питания по территории предприятия .....	23
2.5. Разработка линий электроснабжения выше 1000 В по территории предприятия .....	29
2.6. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В .....	32
2.7. Разработка линий электроснабжения до 1000 В по территории предприятия.....	39
3. Внешнее электроснабжение предприятий .....	40
3.1. Разработка схемы внешнего электроснабжения .....	41
3.2. Выбор силового оборудования.....	43
3.2.1. Выбор выключателей и разъединителей.....	43
3.2.2. Выбор измерительных трансформаторов тока .....	45
3.2.3. Выбор измерительных трансформаторов напряжения .....	48
3.2.4. Выбор ограничителя перенапряжения .....	50
3.2.5. Выбор трансформаторов собственных нужд.....	50
3.3. Разработка схемы закрытого распределительного устройства .....	51
4. Электроснабжение промышленных потребителей в здании цеха полуфабрикатов .....	53
4.1. Распределение электроприёмников цеха по пунктам питания.....	53
4.2. Расчет электрических нагрузок производственного помещения .....	55
4.3. Выбор защитных аппаратов и проводников .....	65
4.4. Оценка установившегося отклонения напряжений.....	74
4.5. Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В.....	81
4.6. Построение карты селективности действия аппаратов защиты .....	84
4.7. Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ .....	86
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	89
5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	91
5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	91

5.1.2.	Анализ конкурентных технических решений.....	93
5.1.3.	SWOT-анализ.....	95
<b>5.2.</b>	<b>Планирование проекта.....</b>	<b>100</b>
5.2.1.	Структура работ в рамках проектирования .....	100
5.2.2.	Определение трудоемкости выполнения работ.....	101
5.2.3.	Разработка графика проведения проекта .....	101
<b>5.3.</b>	<b>Формирование бюджета проекта .....</b>	<b>105</b>
5.3.1.	Расчет материальных затрат.....	105
5.3.2.	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....	106
5.3.3.	Основная заработная плата исполнителей.....	107
5.3.4.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	109
5.3.5.	Накладные расходы.....	109
5.3.6.	Формирование бюджета затрат научно-технического проекта .....	109
<b>5.4.</b>	<b>Определение капитальных вложений в электрооборудование.....</b>	<b>111</b>
5.4.1.	Затраты на электротехническое оборудование ГПП завода .....	111
5.4.2.	Затраты на электротехническое оборудование инструментального цеха завода.....	112
<b>5.5.</b>	<b>Ресурсоэффективность .....</b>	<b>114</b>
<b>6.</b>	<b>Социальная ответственность .....</b>	<b>115</b>
<b>6.1.</b>	<b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....</b>	<b>115</b>
<b>6.2.</b>	<b>Производственная безопасность.....</b>	<b>116</b>
6.2.1.	Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации оборудования.....	117
6.2.2.	Мероприятия по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов. ....	121
<b>6.3.</b>	<b>Экологическая безопасность.....</b>	<b>123</b>
<b>6.4.</b>	<b>Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....</b>	<b>125</b>
Заключение .....		127
Список использованных источников .....		131

## Введение

Научно-технический процесс диктует необходимость совершенствования промышленной энергетики: создание экономичных, надежных систем электроснабжения промышленных предприятий, систем освещения, автоматизированных систем управления технологическими процессами, внедрение микропроцессорной техники, элегазового оборудования, новейших преобразовательных устройств.

Важнейшей экономической задачей является надежное и экономическое обеспечение промышленного предприятия электроэнергией надлежащего качества в соответствии с графиком ее потребления.

Системой электроснабжения называется совокупность электротехнических установок, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией.

Современные системы электроснабжения промышленных предприятий должны удовлетворять определенным требованиям:

- экономичность;
- надежность;
- безопасность;
- удобство эксплуатации;
- гибкость при дальнейшем развитии без существенного переустройства существующей схемы;
- максимальное приближение источников высокого напряжения к центрам электрических нагрузок потребителей;
- минимизация потерь электроэнергии...

Целью курсового проекта является проектирование системы электроснабжения мясокомбината, используя при проектировании данные предприятия (генплан, план цеха, сведения об электрических нагрузках), детально проработать систему электроснабжения приемников в здании цеха полуфабрикатов, сделать выводы.

## **1. Общие сведения об объекте электроснабжения**

### **1.1. Роль предприятия в хозяйственной деятельности**

ОАО «Великолукский мясокомбинат» является 3 по величине компанией аграрного сектора России.

Предприятие включено в перечень системообразующих организаций, принимающих активное участие в организации социальной стабильности и продовольственной безопасности страны. Холдинг реализует инвестиционные проекты в сельское хозяйство, направленные на реализацию государственных программ по импортозамещению и регулированию рынков сырья и продовольствия.

Компания признана одним из крупнейших работодателей федерального масштаба и обеспечивает стабильной работой более 15 000 человек.

Основными направлениями деятельности Холдинга являются: разведение и селекция племенных животных, выращивание зерна, производство кормов, глубокая мясопереработка и конечная реализация готовой продукции.

Все предприятия Холдинга имеют наивысший уровень биологической безопасности.

Продукция, выпускаемая холдингом, реализуется через федеральные и локальные торговые сети, государственные заказы, магазины фирменной сети и отправляется на экспорт.

Великолукский Агропромышленный Холдинг принимает активное участие в государственных программах по импортозамещению, развитию сельского хозяйства и организации занятости населения в сельской местности, численность сотрудников холдинга превышает 15000 человек.

### **1.2. Технологический процесс**

Мясная промышленность (мясоперерабатывающая промышленность), одна из наиболее крупных отраслей пищевой промышленности, осуществляющая комплексную переработку скота.

Предприятия мясной промышленности России производят заготовку и убой скота, птицы, кроликов и вырабатывают мясо, колбасные изделия, мясные консервы, полуфабрикаты, котлеты, пельмени, кулинарные изделия.

Наряду с производством пищевых продуктов в мясной промышленности вырабатываются сухие животные корма, ценные медицинские препараты (инсулин, гепарин, линокаин и др.), а также клеи, желатин и перопуховые изделия.

В мясной промышленности развито комбинированное производство. Наряду с переработкой скота на мясокомбинатах вырабатывают колбасные изделия, мясные полуфабрикаты, мясные консервы и другую продукцию. Основная продукция, выпускаемая мясокомбинатами (производство): вареные колбасы, сосиски и сардельки, полукопченые колбасы, варено-копченые колбасы, деликатесная продукция, натуральные мясные полуфабрикаты.

К мясным полуфабрикатам относят изделия, подготовленные для кулинарной обработки. Основным сырьем для изготовления мясных полуфабрикатов служат мясо разных видов и субпродукты. Натуральные полуфабрикаты изготавливают преимущественно из охлажденного мяса. Для приготовления отдельных полуфабрикатов используют муку, яйца, хлеб и специи. В зависимости от способа обработки и кулинарного назначения полуфабрикаты подразделяют на натуральные, панированные и рубленые. К полуфабрикатам относят также мясной фарш, пельмени, наборы из мяса птицы.

Предприятия мясной промышленности оснащены высокопроизводительным оборудованием, конвейерными линиями, автоматами и сложными агрегатами. Все крупные и значительная часть мелких мясокомбинатов обеспечены искусственным холодом.

Предприятия мясной промышленности в основном потребители 2 и 3 категорий.

### **1.3. Инженерные изыскания**

#### **1.3.1. Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности**

Город Великие Луки расположен в 250 км к юго-востоку от Пскова, в пределах Ловатской низины, на берегах реки Ловать (бассейн озера Ильмень).

Тольятти находится в часовой зоне МСК+3. Смещение применяемого времени относительно UTC составляет +6:00.

Тип местности: равнинная. Высота над уровнем моря: 100 метров [2].

Почвы, которыми представлен покров территории г. Великие Луки можно отнести к суглинкам, глинам и пескам [4].

### **1.3.2. Инженерные изыскания по климатическим условиям местности**

Климат умеренно континентальный с продолжительной, снежной зимой с оттепелями и умеренно-тёплым, часто дождливым летом. В течение года преобладают ветры с южной составляющей (Ю, ЮВ, ЮЗ). Средние скорости ветра в годовом ходе изменяются от 3,2 м/с летом до 5,2 м/с — зимой. Продолжительность вегетационного периода — 4,5 месяца. Продолжительность отопительного сезона — 213 дней. Средняя продолжительность ледостава на реке 100—130 дней.

Район относится к зоне избыточного увлажнения, так как осадки превышают испарение. Относительная влажность воздуха высока в течение всего года, особенно в осенне-зимний период (80—88 %). Весной и летом её значения снижаются до 70—75 %. В период весеннего половодья ежегодно пойма реки затапливаются слоем до 2—3 м, местами до 4 м. Наличие территорий заболоченных почв в городской черте и мелких речных притоков, подъём грунтовых вод, приводит к случаям сезонного подтопления в весенне-осенний период [5].

### **1.3.3. Инженерные изыскания по гидрологическим условиям местности**

Основную угрозу проектируемому объекту могут представлять разливы рек в паводковый период. Следовательно, необходимо предусмотреть вынос объектов электроснабжения из опасных зон. Отдельное внимание уделить установке оборудования на неподтопляемых территориях и планированию трасс линий.

При невозможности выноса оборудования следует рассмотреть вопрос о применении высоких фундаментов, гидрозащиты сооружений, а также альтернативных вариантах электроснабжения.

## **1.4. Особенности электроснабжения предприятия**

Проектируемый объект относится к II категории по надежности электроснабжения.

Питание объекта будет осуществляться от одной из действующих подстанций либо напрямую от электростанции, в зависимости от установленной

мощности предприятия и напряжения питающих линий, значение которых будет определено дальнейшими расчетами.

В соответствии с категорией объекта, питание будет осуществляться по двухцепной линии электропередачи. Распределение электроэнергии по территории предприятия будет осуществляться кабельными линиями с изоляцией из сшитого полиэтилена, а также самонесущими изолированными проводами марки СИП-3.

### **1.5. Исходные данные**

Исходными данными к проектированию являются:

1. Генеральный план предприятия (рисунок 1.1);
2. Сведения об электрических нагрузках, характеристика среды производственных помещений, характеристика потребителей электроэнергии (таблица 1.1);
3. План рассматриваемого цеха (рисунок 1.2.);
4. Сведения об электрических нагрузках цеха (таблица 1.2.);
5. Длина питающей линии (таблица 1.1).

Генплан позволяет определить размеры цехов и длины будущих кабельных линий, а также место их прокладки и место расположения трансформаторных подстанций.

План цеха аналогично позволяет определить оптимальное расположение пунктов питания электроприемников и трасс распределительной и питающей сети.

Сведения об электрических нагрузках дают возможность определить расчетные мощности цехов, выбрать сечения линий и оборудование.

Таблица 1.1 – Ведомость электрических нагрузок предприятия

	Потребитель	Категория	Напряжение, кВ	Среда	Установленная мощность, кВт
1	Административное помещение	II	0,38	нормальная	90
2	Цех полуфабрикатов	II	0,38	жаркая	-
3	Консервный цех	II	0,38	жаркая	270
4	Холодильник	II	0,38	нормальная	250
5	Насосная	II	10(СД)	нормальная	1600
			0,38		200
6	Электролитный жестяно-баночный цех	II	0,38	жаркая	250
7	РМЦ	III	0,38	нормальная	450
8	Компрессорная	II	10(СД)	нормальная	1800
			0,38		450
9	Здание загона скота	II	0,38	влажная	30
10	Здание предубойного содержания скота	III	0,38	нормальная	50
11	Холодильник	II	0,38	нормальная	300
12	Колбасный цех	II	0,38	жаркая	1800
13	Гараж	III	0,38	нормальная	120
14	Склад	III	0,38	нормальная	400
15	Деревообрабатывающий цех	III	0,38	нормальная	240
16	Котельная	II	0,38	жаркая	1000
17	Здание санбойни	III	0,38	влажная	180
18	Зоопарк	II	0,38	нормальная	1100
19	Овощехранилище	II	0,38	нормальная	180
20	Электроцех	III	0,38	нормальная	460
	Источник питания L = 3 км	-	-	-	-

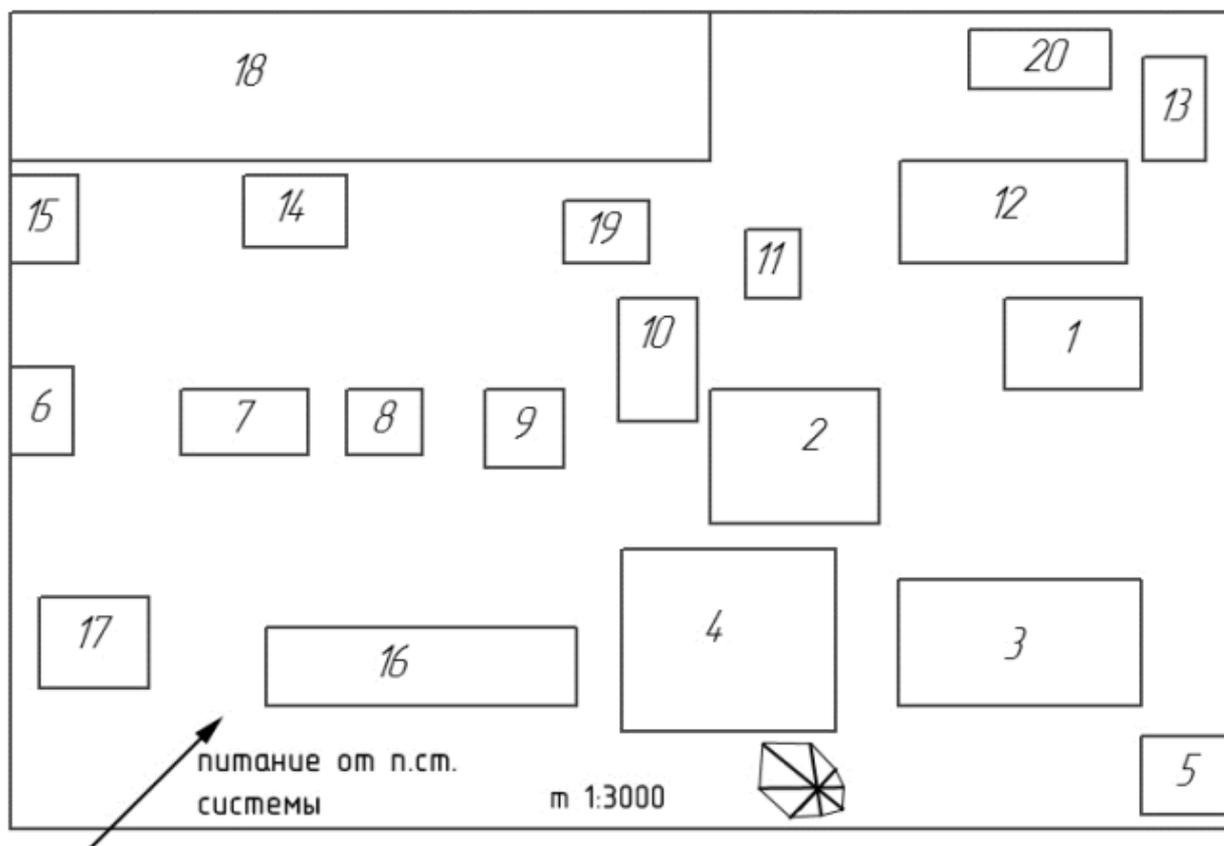


Рисунок 1.1 – Генплан предприятия

Таблица 1.2 – Сведения об электрических нагрузках цеха полуфабрикатов

Номер	Наименование	$P_{\text{ном}}$ ,	$k_{\text{исп}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$
		кВт			
1	2	3	4	5	6
1,2	Котел КПЭ-60	3	0,75	0,95	0,33
3,4	Котел КЭП-250	1,4	0,75	0,95	0,33
5	Машина прогирочно-резательная	3,2	0,16	0,65	1,17
6,7	Сковорода СЭСМ-02	3,2	0,6	0,95	0,33
8	Плита ЭП-6ЖШ	1,6	0,6	0,95	0,33
9	Холодильная машина	4,5	0,6	0,65	1,17
10	Вытяжная установка	6,5	0,75	0,85	0,62
11	Приточная установка	7,5	0,75	0,85	0,62
12	Приточная установка	3,2	0,75	0,85	0,62
13	Льдогенератор F90-H102	15	0,16	0,65	1,17
14,26,31,32,44,46	Установка "Климат-050"	26	0,75	0,85	0,62
15	Волчок АЕ-130	25	0,16	0,65	1,17
16	Ккутер Rex	2	0,16	0,65	1,17
17,23	Фаршемешалка ФМВ 015	9,5	0,16	0,65	1,17
18	Машина упаковочная Olympus Vac	7,4	0,16	0,65	1,17
19,20,22	Подъемник-загрузчик ПМ-ФЗ-01	2,3	0,6	0,65	1,17
21	Волчок "RISKA"	12,5	0,16	0,65	1,17
24	Камера подморозки	14	0,6	0,65	1,17
25	Ккутер Kilia 4000	39	0,16	0,65	1,17
27,29,30	Камера заморозки	3	0,6	0,65	1,17
28	Холодильная машина	48	0,6	0,65	1,17
33	Машина тестораскаточная Smart	19	0,16	0,65	1,17
34	Линия производства пельменей	31	0,16	0,65	1,17
35-39	Автомат пельменный JGL 120-5	1,6	0,16	0,65	1,17
40,41	Машина тестомесильная Г7-ТЗМ 63	4,5	0,16	0,65	1,17
42	Машина тестомесильная ОН 199Л	6,5	0,16	0,65	1,17
43	Машина тестомесильная Л4-ХТЮ	7,5	0,16	0,65	1,17
45	Автомат для резки порций Falcon	3,2	0,16	0,65	1,17
47	Приточная установка "Эльф 9"	15	0,6	0,65	1,17
48	Холодильная машина	26	0,6	0,65	1,17
49,50,63,64	Кондиционер ALV-N753H	25	0,75	0,85	0,62
51	Иньектор P40/500 SE	2	0,16	0,65	1,17
52	Камера холодильная сборная	9,5	0,6	0,65	1,17
53	Стерилизатор ПМ-ФС1	7,4	0,16	0,65	1,17
54	Аппарат для мойки HD-658	2,3	0,16	0,65	1,17
55,56	Дефростер	12,5	0,75	0,85	0,62
57-59	Вытяжная вентсистема	14	0,75	0,85	0,62
60,61	Кондиционер	7,5	0,75	0,85	0,62
62	Кондиционер	3	0,75	0,85	0,62

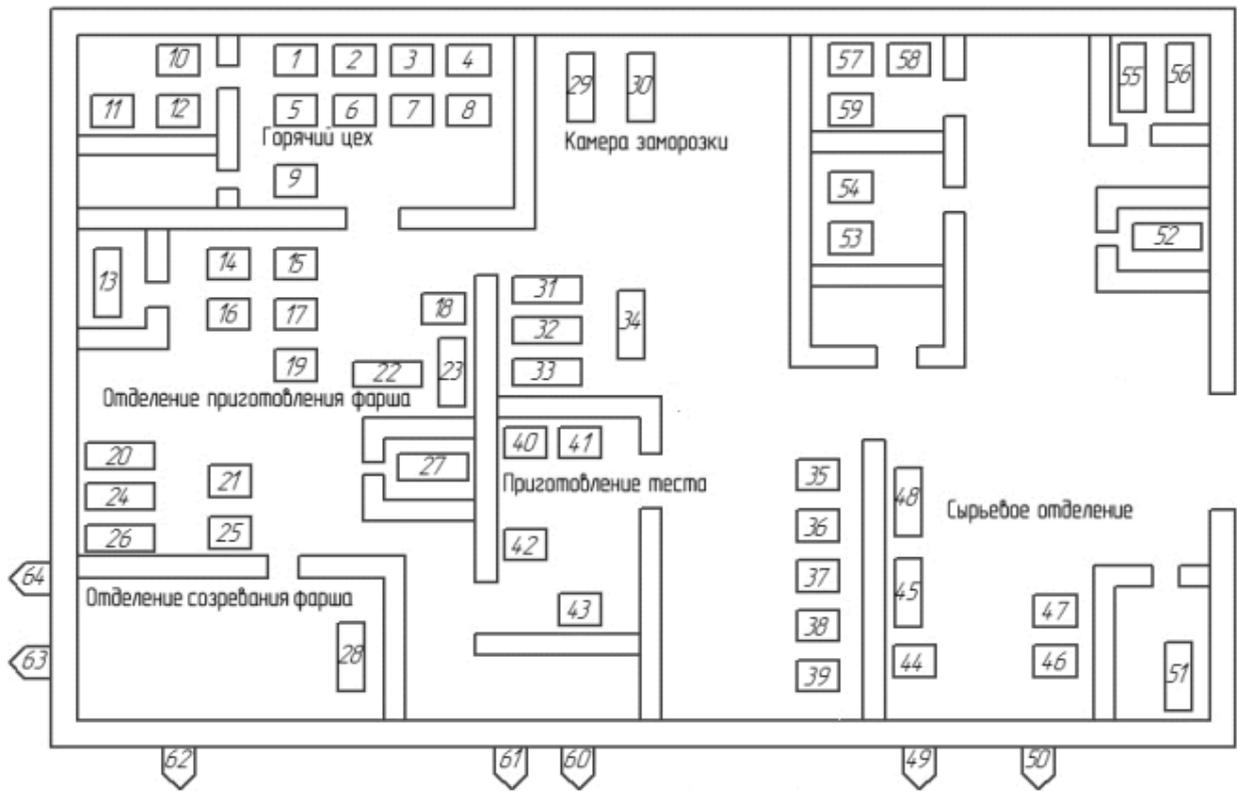


Рисунок 1.2 – План цеха полуфабрикатов

## 2. Электроснабжение объектов на территории предприятия

### 2.1. Определение расчетной нагрузки цеха

Для определения расчетной нагрузки цеха воспользуемся методом упорядоченных диаграмм.

Суть метода заключается в том, что расчетная нагрузка находится по коэффициенту максимума и эффективному числу электроприемников. Для этого все электроприемники цеха разбиваются на две группы с одинаковыми режимами работы:

- «А» электроприемники с переменным графиком нагрузки ( $K_{\text{и}} < 0,6$ );
- «Б» электроприемники с практически постоянным графиком нагрузки ( $K_{\text{и}} \geq 0,6$ ;  $K_{\text{з}} \geq 0,9$ ;  $K_{\text{в}} = 1$ ).

Для каждой группы определяется суммарная номинальная мощность электроприемников (на примере группы «А»)

$$P_{\text{ном.}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} = 72,5 + 144,5 = 217 \text{ кВт.}$$

Коэффициент использования  $K_{и}$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\operatorname{tg}\varphi$  для каждого электроприемника или группы электроприемников определяется по справочным данным [9, стр. 19, табл. 1.7].

Средняя активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену для электроприемников (на примере станков)

$$P_{\text{см}} = K_{и} \cdot P_{\text{ном.}\Sigma} = 0,16 \cdot 72,5 = 11,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 11,6 \cdot 1,17 = 13,57 \text{ кВАр},$$

где  $P_{\text{ном}}$  – суммарная номинальная активная мощность электроприемников;

$K_{и}$  – коэффициент использования активной мощности;

$\operatorname{tg}\varphi$  – принимается по соответствующему значению коэффициента мощности.

Для каждой группы электроприемников подводится итог по среднесменной активной и реактивной нагрузке для всей группы

$$P_{\text{см}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{см.}i} = 11,6 + 36,13 = 47,73 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{см.}i} = 13,57 + 42,27 = 55,84 \text{ кВАр}.$$

Диапазон величины модуля силовой сборки

$$m = \frac{P_{\text{ном.max}}}{P_{\text{ном.min}}} = \frac{25}{2} = 12,5 > 3.$$

Средневзвешенный коэффициент использования по группе

$$K_{и.ср} = \frac{P_{\text{см}}^{\text{A}}}{P_{\text{ном.}\Sigma}} = \frac{47,73}{217} = 0,22.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{см}}^{\text{A}}}{P_{\text{см}}^{\text{A}}} = \frac{55,84}{47,73} = 1,17.$$

Для электроприемников группы «А» определим эффективное число электроприемников  $n_э$ ,

$$n_э = \frac{[P_{\text{ном.}\Sigma}]^2}{\sum P_{\text{ном}}^2} = \frac{217^2}{4923,29} = 9,56 \text{ шт},$$

принимаем  $n_э = 10$  шт.

Коэффициент максимума активной мощности [9, стр. 21, табл. 1.8]

$$K_M = 1,8.$$

Коэффициент максимума реактивной мощности

$$K'_M = 1,0.$$

Расчетная активная и реактивная мощности для группы "А"

$$P_p^{''A} = K_M \cdot P_{CM}^{''A} = 1,8 \cdot 47,73 = 85,91 \text{ кВт},$$

$$Q_p^{''A} = K'_M \cdot Q_{CM}^{''A} = 1,0 \cdot 55,84 = 55,84 \text{ кВАр}.$$

Для электроприемников группы «Б» с практически постоянным графиком нагрузки расчетная активная и реактивная мощность принимается равной средней за наиболее загруженную смену

$$P_p^{''B} = P_{CM}^{''B} = 359,79 \text{ кВт}, \quad Q_p^{''B} = Q_{CM}^{''B} = 185,71 \text{ кВАр}.$$

Расчетная активная и реактивная мощности электроприемников по цеху

$$P_p = P_p^{''A} + P_p^{''B} = 85,91 + 359,79 = 445,7 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_p^{''A} + Q_p^{''B} = 55,84 + 185,71 = 241,55 \text{ кВАр}.$$

Для освещения цеха применяется светодиодное освещение.

Номинальная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по удельной установленной мощности осветительной нагрузки и площади цеха

$$P_{H.o} = P_{уд.o} \cdot F_{ц} = 0,006 \cdot 2700 = 16,2 \text{ кВт},$$

где  $F_{ц}$  – площадь цеха,  $m^2$ ;

$P_{уд.o}$  – удельная установленная мощность осветительной нагрузки [8, табл. 7.2], кВт/ $m^2$ .

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{H.o} = 0,95 \cdot 16,2 = 15,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg}\varphi_o = 15,4 \cdot 0,48 = 8,3 \text{ кВАр},$$

где  $K_{co}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки [9, стр. 22, табл. 1.10];

$\operatorname{tg}\varphi_o$  – для светодиодных ламп.

Определение расчётной нагрузки цеха с учетом освещения

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ &= \sqrt{(445,7 + 15,4)^2 + (241,55 + 8,3)^2} = 524,8 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Определение расчётного тока цеха

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{524,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 797,4 \text{ А,}$$

где  $U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение электроприемников, В.

Определение пикового тока цеха

Номинальный ток самого мощного электроприемника цеха

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{48,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,89} = 126 \text{ А.}$$

Пусковой ток самого мощного электроприемника цеха

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = 5 \cdot 126 = 630,3 \text{ А.}$$

Пиковый ток цеха

$$I_{\text{пик.ц}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_p - K_{\text{u,max}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}) = 630,3 + (797,4 - 0,6 \cdot 126) = 1352 \text{ А.}$$

Расчет электрических нагрузок цеха сведён в таблицу 2.1.

Таблица 2.1. – Определение расчетных нагрузок цеха

Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП, п	Установленная мощность		$m = P_{\text{ном. max}} / P_{\text{ном. min}}$	Коэффициент использования $K$	$\cos \phi$	$\text{tg} \phi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число	Коэффициент максимума $K_M$	Расчетная нагрузка			$I_p$ , А	$I_{\text{пик}}$ , А	
		$P_{\text{ном}}$ , кВт	$\sum P_{\text{ном}}$ , кВт					кВт $P_{\text{см}} = K_M \cdot P_{\text{ном}}$	кВт $Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \phi$			кВт $P_p = K_M \cdot P_{\text{см}}$	кВАр $Q_p = (1 + 1,1) \cdot Q_{\text{см}}$	кВА $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Электроприемники группы "А" $K_M < 0,6$																	
1 Машинные разные	7	2	25	72,5		0,16	0,65	1,17	11,60	13,57							
2 Машинные разные	17	1,6	39	144,5		0,25	0,65	1,17	36,13	42,27							
Итого по группе "А"	24	1,6	39	217	>3	0,22	0,65	1,17	47,73	55,84	10	1,8	85,91	55,84	102,46		
Электроприемники группы "Б" $K_M \geq 0,6$																	
3 Котлы, вентиляция	25	1,4	26	367		0,75	0,95	0,33	275,25	90,83							
4 Плита, сковороды	3	1,6	3,2	8		0,60	0,95	0,33	4,80	1,58							
5 Холодильники, погрузчик	12	2,3	48	132,9		0,60	0,65	1,17	79,74	93,30							
Итого по группе "Б"	40	1,4	48	507,9	>3	0,71	0,89	0,52	359,79	185,71	1		359,79	185,71	404,89		
Итого силовая нагрузка	64	1,4	48	724,9		0,56	0,78	0,59	407,52	241,55			445,70	241,55	507,35		
Электрическое освещение			16,2		$K_{\text{со}} =$	0,95	0,90	0,48	15,4	8,3			15,4	8,3	17,5		
Итого по цеху	64	1,4	48	741,1		0,57	0,78	0,59	422,92	249,85			461,1	249,85	524,8	797,4	1352

## 2.2. Расчет электрических нагрузок предприятия

Расчетная полная мощность предприятия определяется по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов с учетом освещения, потерь мощности в трансформаторах 6-10/0,4 кВ, 220-35/10 кВ и линиях электропередач.

На начальном этапе разработки проекта, для определения приближенных нагрузок предприятия, мощности источника питания, выбора силового электротехнического оборудования допускается использовать метод «Коэффициента спроса» ( $K_c$ ). Если заказчик не предоставил актуальных данных объекта  $K_c$  допустимо определять по справочной литературе. Коэффициента спроса является характеристикой группы электроприемников или потребителя с равномерной нагрузкой, то есть в группе настолько много электроприемников, что максимумы нагрузок не носят выраженного характера.

Расчетная нагрузка (активная и реактивная) силовых приемников цехов определяются из соотношений

$$P_p = K_c \cdot P_{уст}, \quad Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

где  $P_p$ ,  $Q_p$  – суммарные активная и реактивная мощности всех приемников цеха;

$K_c$  – коэффициент спроса [9, стр. 13, табл. 1.6];

$\operatorname{tg}\varphi$  – принимается по значению коэффициента мощности.

Расчет осветительной нагрузки цехов идентичен расчету осветительной нагрузки рассчитанного цеха.

Расчетная активная мощность групп приемников выше 1000 В определяется по вышеприведенным формулам и учитываются отдельно.

Для систематизации рассчитанных нагрузок используется таблица 2.2.

Пример расчета (Административное помещение)

$$P_{уст} = 90,0 \text{ кВт}, \quad K_c = 0,40, \quad \cos\varphi = 0,75, \quad \operatorname{tg}\varphi = 0,88.$$

Расчетные активная и реактивная мощности корпуса

$$P_p = K_c \cdot P_{уст} = 0,40 \cdot 90 = 36 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 36 \cdot 0,88 = 31,7 \text{ кВАр},$$

Номинальная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{н.о} = P_{уд.о} \cdot F_{ц} = 0,009 \cdot 1530 = 13,8 \text{ кВт}.$$

Таблица 2.2. – Определение расчетных нагрузок по цехам предприятия

Наименование цеха		Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка						Суммарная нагрузка		
		$P_{уст},$ кВт	$K_c$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ кВАр	$F,$ м <sup>2</sup>	$P_{уд о},$ Вт/м <sup>2</sup>	$P_{но},$ кВт	$K_{co}$	$P_{ро},$ кВт	$Q_{ро},$ кВАр	$P_p+P_{ро},$ кВт	$Q_p+Q_{ро},$ кВт	$S_p,$ кВА
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Потребители электроэнергии до 1000 В																
1	Административное помещение	90	0,40	0,75	0,88	36,0	31,7	1530	9	13,8	0,9	12,4	10,9	48,4	42,6	64,5
2	Цех полуфабрикатов	724,9	-	0,78	0,54	445,7	241,5	2700	6	16,2	0,95	15,4	8,3	461,1	249,85	524,8
3	Консервный цех	270	0,4	0,60	1,33	108,0	143,6	4050	6	24,3	0,95	23,1	30,7	131,1	174,3	218,1
4	Холодильник	250	0,6	0,80	0,75	150,0	112,5	6561	5	32,8	0,90	29,5	22,1	179,5	134,6	224,4
5	Насосная	200	0,3	0,7	1,02	60,0	61,2	990	5	5,0	0,90	4,5	4,5	64,5	65,7	92,1
6	Электролитный жестяно-баночный цех	250	0,4	0,60	1,33	100,0	133,0	630	9	5,7	0,95	5,4	7,2	105,4	140,2	175,4
7	РМЦ	450	0,3	0,60	1,33	135,0	179,6	1080	5	5,4	0,95	5,1	6,8	140,1	186,4	233,2
8	Компрессорная	450	0,3	0,70	1,02	135,0	137,7	729	5	3,6	0,95	3,5	3,5	138,5	141,2	197,8
9	Здание загона скота	30	0,35	0,80	0,75	10,5	7,9	900	5	4,5	0,95	4,3	3,2	14,8	11,1	18,5
10	Здание предубойного содержания скота	50	0,35	0,80	0,75	17,5	13,1	1350	6	8,1	0,95	7,7	5,8	25,2	18,9	31,5
11	Холодильник	300	0,6	0,80	0,75	180,0	135,0	486	5	2,4	0,95	2,3	1,7	182,3	136,7	227,9
12	Колбасный цех	1800	0,4	0,60	1,33	720,0	957,6	3393	6	20,4	0,95	19,3	25,7	739,3	983,3	1230,3
13	Гараж	120	0,2	0,75	0,88	24,0	21,1	1008	5	5,0	0,60	3,0	2,7	27,0	23,8	36,0
14	Склад	400	0,3	0,80	0,75	120,0	90,0	1170	5	5,9	0,60	3,5	2,6	123,5	92,6	154,4
15	Деревообрабатывающий цех	240	0,4	0,60	1,33	96,0	127,7	810	6	4,9	0,95	4,6	6,1	100,6	133,8	167,4
16	Котельная	1000	0,55	0,80	0,75	550,0	412,5	3510	5	17,6	0,95	16,7	12,5	566,7	425,0	708,3
17	Здание санбойни	180	0,35	0,80	0,75	63,0	47,3	1386	6	8,3	0,95	7,9	5,9	70,9	53,2	88,6
18	Зоопарк	1100	0,2	0,50	0,89	220,0	195,8	11088	6	66,5	0,95	63,2	56,2	283,2	252,0	379,1
19	Овощехранилище	180	0,2	0,50	0,89	36,0	32,0	720	5	3,6	0,60	2,2	1,9	38,2	34,0	51,1
20	Электроцех	460	0,35	0,80	0,75	161,0	120,8	1071	6	6,4	0,95	6,1	4,6	167,1	125,3	208,9
Территория завода		0	-	-	-	0	0	95742	0	15,3	1	15,3	7,4	15,3	7,4	17,0
Итого по 0,38 кВ		8544	-	-	-	3367	3201	$\Sigma F_{ц} =$	140904	275,6	-	255	230,6	3622,7	3432,1	5049,2
Потребители электроэнергии выше 1000 В																
5	Насосная	1600	0,6	0,7	1,02	960	979	-	-	-	-	-	-	960	979	1371,3
8	Компрессорная	1800	0,5	0,8	0,75	900	675	-	-	-	-	-	-	900	675	1125,0
Итого по 10 кВ		3400	-	-	-	1860	1654	-	-	-	-	-	-	1860	1654	2496

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{H.o} = 0,9 \cdot 13,8 = 12,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg}\varphi_o = 12,4 \cdot 0,88 = 10,09 \text{ кВАр}.$$

Полная максимальная мощность корпуса

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ = \sqrt{(36 + 12,4)^2 + (31,7 + 10,09)^2} = 64,5 \text{ кВА}.$$

Для удобства вынесем отдельно результаты расчетов

$$\sum P_p^H = 3367,7 \text{ кВт}, \quad \sum Q_p^H = 3201,6 \text{ кВАр},$$

$$\sum P_{p.o} = 255 \text{ кВт}, \quad \sum Q_{p.o} = 230,6 \text{ кВАр},$$

$$\sum P_p^B = 1860 \text{ кВт}, \quad \sum Q_p^B = 1654 \text{ кВАр}.$$

Полная мощность нагрузки предприятия на шинах напряжением до 1000 В за максимально загруженную смену

$$S_p^H = \sqrt{\left(\sum P_p^H + \sum P_{p.o}\right)^2 + \left(\sum Q_p^H + \sum Q_{p.o}\right)^2} = \\ = \sqrt{(3367,7 + 255)^2 + (3201,6 + 230,6)^2} = 5048,8 \text{ кВА}.$$

Приблизленно потери мощности в цеховых трансформаторах и питающих проводниках [10, стр. 32]

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 5054,3 = 101,1 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 5054,3 = 505,4 \text{ кВАр},$$

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 5054,3 = 151,6 \text{ кВт},$$

где  $\Delta P_T$  – потери активной мощности в цеховых трансформаторах, кВт;

$\Delta Q_T$  – потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах, кВАр;

$\Delta P_L$  – потери активной мощности в линиях, кВт.

Суммарные расчетные активная, реактивная и полная мощности с учетом потерь в цеховых трансформаторах и питающих линиях

$$P_{p\Sigma} = \left(\sum P_p^H + \sum P_p^B\right) \cdot K_{p.m} + P_{p.o} + \Delta P_T + \Delta P_L = \\ = (3367,7 + 1860) \cdot 0,95 + 255 + 101,1 + 151,6 = 5472,9 \text{ кВт},$$

$$Q_{p\Sigma} = \left( \sum Q_p^H + \sum Q_p^B \right) \cdot K_{p.m} + Q_{p.o} + \Delta Q_T =$$

$$= (3201,6 + 1654) \cdot 0,95 + 230,6 + 505,4 = 5348,3 \text{ кВар},$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{5472,9^2 + 5348,3^2} = 7652,3 \text{ кВА}.$$

где  $K_{p.m} = 0,9 \div 0,95$  – коэффициент разновременности максимумов нагрузки [10, стр. 35].

Приблизительные потери мощности в трансформаторах ГПП

$$\Delta P_{T.GPP} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 7652,3 = 153 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{T.GPP} = 0,1 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 7652,3 = 765,23 \text{ кВар},$$

где  $\Delta P_{T.GPP}$  – потери активной мощности в трансформаторах ГПП, кВт;

$\Delta Q_{T.GPP}$  – потери реактивной мощности в трансформаторах ГПП, кВар.

Определяем полную расчетную мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП

$$S_p = \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{T.GPP})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{T.GPP})^2} =$$

$$= \sqrt{(5472,9 + 153)^2 + (5348,3 + 765,23)^2} = 8308 \text{ кВА}.$$

Произведен расчет нагрузки предприятия без учета компенсации реактивной мощности. Чтобы учесть компенсацию реактивной мощности необходимо определиться с уровнем напряжения питающих линий.

В общем случае рекомендуется передавать мощность до 10 МВА на напряжении 35 кВ, мощность 10-120 МВА на напряжении 110 кВ и мощность 120-150 МВА на напряжении 220 кВ [11, стр. 46].

Для определения экономически целесообразной величины напряжения питающей линии ГПП используется формула Илларионова

$$U_{\text{эк}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{3,0} + \frac{2500}{5472,9}}} = 77,35 \text{ кВ},$$

где  $L$  – длина питающей линии, км;

$U_{\text{эк}}$  – экономическое напряжение рассматриваемого участка, кВ.

С учетом рекомендаций принимаем напряжение  $U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$ .

Реактивная мощность, передаваемая в сеть предприятия от системы

$$Q_c = \alpha \cdot P_p = 0,24 \cdot 5472,9 = 1313,5 \text{ кВАр},$$

где  $\alpha$  – расчетный коэффициент, соответствующий средним условиям передачи реактивной мощности по сетям системы [10, стр. 35].

Приблизительное значение мощности компенсирующих устройств

$$Q_{ку} = Q_p - Q_c = 5348,3 - 1313,5 = 4034,8 \text{ кВАр}.$$

Полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП с учетом компенсации реактивной мощности

$$S_{р.гпп} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{ку})^2} = \sqrt{5472,9^2 + (5348,3 - 4034,8)^2} = 5628,3 \text{ кВА}.$$

Таким образом, в данном подразделе была определены полная расчетная мощность главной понизительной подстанции и уровень напряжения линии, питающей ГПП.

### **2.3. Картограмма электрических нагрузок**

Картограмма нагрузок представляет собой размещенные на плане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определенном масштабе соответствует расчетным нагрузкам цехов. Силовые нагрузки до и выше 1000 В изображаются отдельными кругами. Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В.

Картограмма позволяет составить визуальное отображение структуры силовых нагрузок на предприятии. На основе построенной картограммы электрических нагрузок определяется центр электрических нагрузок, который является оптимальным метом для размещения источника питания. В реальных условиях, учитывая наличие дорог, зданий и естественных препятствий источник питания (ГПП) может быть сдвинут в сторону питающей линии.

Для определения ЦЭН энергосистемы на план местности наносятся оси координат. Начало системы координат выбирается произвольно. Координаты каждого объекта  $x_i$  и  $y_i$  определяется в миллиметрах относительно начала координат для точки, в которой установлен источник питания объекта или его

локальном центре нагрузок (при отсутствии данных допускается определять координаты геометрического центра объекта).

Пример расчета (Административное помещение)

$$S_p = 64,5 \text{ кВА}, \quad S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{12,4^2 + 10,9^2} = 16,5 \text{ кВА},$$
$$x = 125 \text{ мм}, \quad y = 75 \text{ мм},$$

Радиус окружности для силовой нагрузки корпуса

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{64,5}{\pi \cdot 0,7}} = 5,4 \text{ мм},$$

где  $S_p$  – расчетная полная мощность цеха, кВА;

$m$  – масштаб для определения площади круга нагрузки, кВА/мм<sup>2</sup>.

Угол сектора нагрузки освещения корпуса

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot S_{p.o}}{S_p} = \frac{360^\circ \cdot 16,5}{64,5} = 92 \text{ град.}$$

Тогда

$$S_p \cdot x = 64,5 \cdot 125 = 8058 \text{ кВА} \cdot \text{мм},$$

$$S_p \cdot y = 64,5 \cdot 75 = 4835 \text{ кВА} \cdot \text{мм}.$$

Для построения зоны рассеяния ЦЭН

$$S_x = S_y = \frac{S_p}{\sum_{i=1}^n S_{p,i}} = \frac{64,5}{5031,8} = 0,0128,$$

$$\sigma_x^2 = S_x \cdot (x - x_0)^2 = 0,0128 \cdot (125 - 88,5)^2 = 17,068,$$

$$\sigma_y^2 = S_y \cdot (y - y_0)^2 = 0,0128 \cdot (75 - 47,3)^2 = 9,83.$$

Результаты расчетов располагаются в таблице 2.3.

Координаты центра электрических нагрузок предприятия

$$x_0 = \frac{\sum(S_{p,i} \cdot x_i)}{\sum S_{p,i}} = \frac{666347}{7528,1} = 88,5 \text{ мм},$$

$$y_0 = \frac{\sum(S_{p,i} \cdot y_i)}{\sum S_{p,i}} = \frac{355869}{7528,1} = 47,3 \text{ мм}.$$

Построение зоны рассеяния ЦЭН.

Параметры нормального закона распределения

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n S_{xi} \cdot (x_i - x_0)^2 = 3102,6, \quad \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n S_{yi} \cdot (y_i - y_0)^2 = 1236,$$

$$h_x = \frac{1}{\sqrt{\sigma_x} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{3102,6} \cdot \sqrt{2}} = 0,0127,$$

$$h_y = \frac{1}{\sqrt{\sigma_y} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1236} \cdot \sqrt{2}} = 0,0284,$$

Полуоси эллипса рассеяния

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0127} = 136,4 \text{ мм}, \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0284} = 61 \text{ мм}.$$

Картограмма нагрузок приведена на рисунке 2.2.

Так как ЦЭН попал в зону расположения цехов, то расположение ГПП смещается в сторону питающей линии.

Таблица 2.3 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

Наименование цеха		$S_{pi}$	$S_{p.o.i.}$	$r$	$\alpha$	$x_i$	$y_i$	$S_{pi} \cdot x_i$	$S_{pi} \cdot y_i$	$\frac{S_{pi}}{\sum_{i=1}^n S_{pi}}$	$\sigma_x^2$	$\sigma_y^2$
		кВА	кВА	мм	град	мм	мм	кВА·мм	кВА·мм			
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Потребители электроэнергии до 1000 В												
1	Административное помещение	64,5	16,5	5,4	92	125	75	8058	4835	0,0128	17,068	9,830
2	Цех полуфабрикатов	524,8	17,5	15,4	12	98	48	51396	25173	0,1042	9,406	0,051
3	Консервный цех	218,1	38,4	10,0	63	127	24	27702	5235	0,0433	64,255	23,534
4	Холодильник	224,4	36,9	10,1	59	90	24	20197	5386	0,0446	0,100	24,212
5	Насосная	92,1	6,4	6,5	25	146	7	13442	644	0,0183	60,496	29,717
6	Электролитный жестяно-баночный цех	175,4	9,0	8,9	18	4	52	701	9119	0,0349	248,845	0,770
7	РМЦ	233,2	8,5	10,3	13	30	50	6995	11659	0,0463	158,589	0,338
8	Компрессорная	197,8	4,9	9,5	9	47	50	9296	9889	0,0393	67,696	0,287
9	Здание загона скота	18,5	5,3	2,9	104	65	50	1200	923	0,0037	2,027	0,027
10	Здание предубойного содержания скота	31,5	9,6	3,8	110	82	60	2582	1890	0,0063	0,264	1,010
11	Холодильник	227,9	2,9	10,2	5	95	70	21649	15952	0,0453	1,913	23,337
12	Колбасный цех	1230,3	32,2	23,7	9	125	78	153783	95960	0,2445	325,732	230,437
13	Гараж	36,0	4,0	4,0	40	145	90	5220	3240	0,0072	22,838	13,044
14	Склад	154,4	4,4	8,4	10	35	78	5404	12042	0,0307	87,821	28,918
15	Деревообрабатывающий цех	167,4	7,7	8,7	17	4	76	670	12724	0,0333	237,583	27,407
16	Котельная	708,3	20,8	18,0	11	52	20	36834	14167	0,1408	187,545	104,917
17	Здание санбойни	88,6	9,9	6,3	40	10	23	886	2038	0,0176	108,536	10,400
18	Зоопарк	379,1	84,6	13,1	80	44	93	16681	35258	0,0753	149,202	157,357
19	Овощехранилище	51,1	2,9	4,8	20	75	75	3831	3831	0,0102	1,850	7,790
20	Электроцех	208,9	7,6	9,7	13	128	96	26737	20053	0,0415	64,769	98,454
Потребители электроэнергии выше 1000 В												
5	Насосная	1371,3		25,0	–	146	7	200208	9599	0,2725	901,034	442,604
8	Компрессорная	1125,0	–	22,6	–	47	50	52875	56250	0,2236	385,057	1,630
Итого		7528,1	–	–	–	88,5	47,3	666347	355869	–	3102,626	1236,068

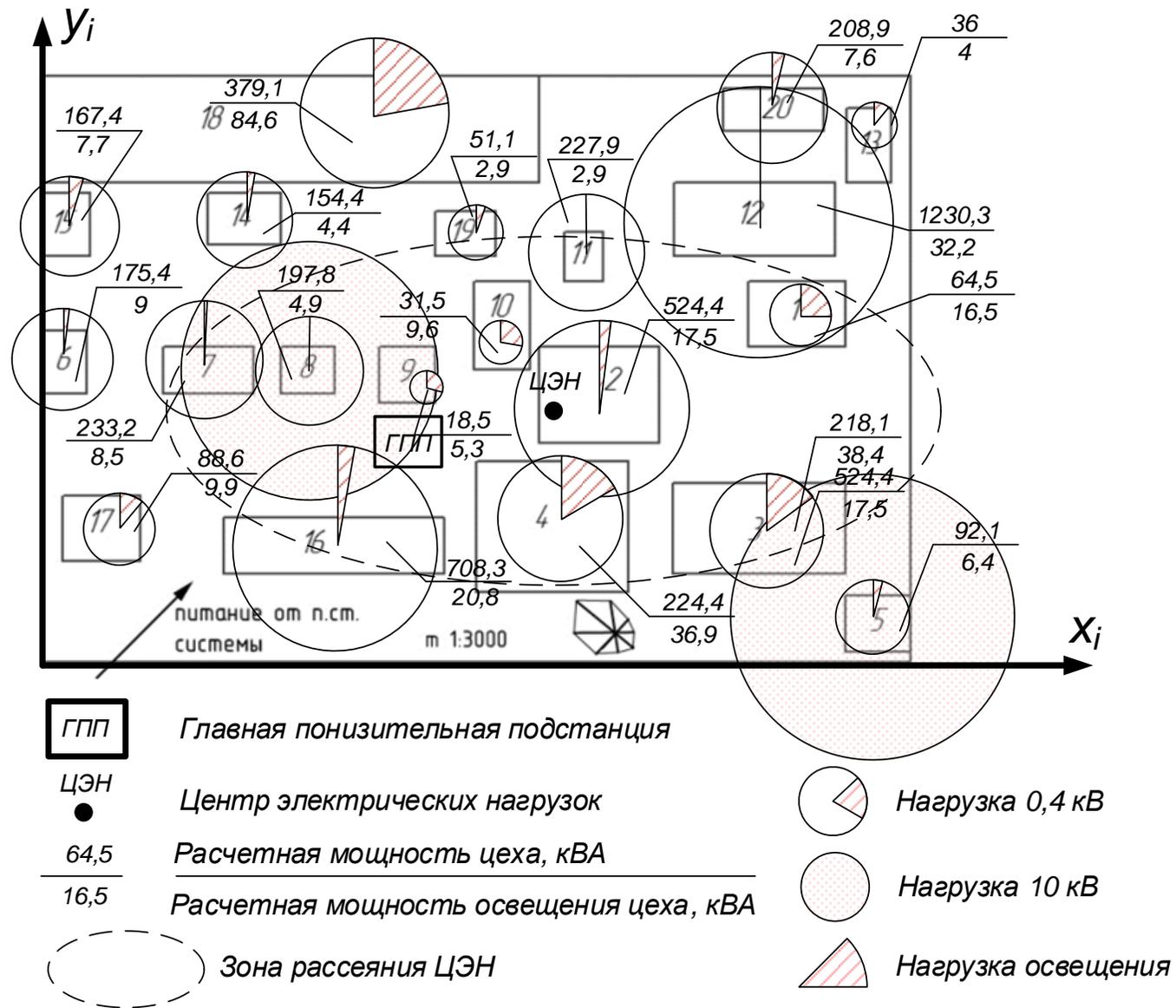


Рисунок 2.2 – Картограмма нагрузок

## 2.4. Распределение источников питания по территории предприятия

Трансформаторные подстанции 6-10 кВ должны быть установлены в центрах своих электрических нагрузок.

При установке на крупных промышленных предприятиях группы цеховых трансформаторов их номинальная мощность определяется плотностью нагрузки и выбирается одинаковой (по возможности) для всей группы.

Загрузка двухтрансформаторных подстанций по полной мощности не должна превышать 70%, однострансформаторных - 90%.

Вопрос выбора мест установки ТП на прямую связан с обеспечением категории надежности электроснабжения. Потребители I и II категории надежности требуют двух независимых источников питания, следовательно должны быть запитаны от двухтрансформаторной подстанции или РП 0,4 кВ, питающегося от такой.

Удельная плотность нагрузки [10, стр. 37, табл. 2.5]

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{ц,\Sigma}} = \frac{5048,8}{140904} = 0,036 \text{ кВА/м}^2,$$

принимаем  $S_{ном.т} = 630$  кВА.

Минимальное число цеховых трансформаторов

$$N_{т.0} = \frac{\sum(P_p^H + P_{п.о})}{\beta_T \cdot S_{ном.т}} = \frac{3622,6}{0,7 \cdot 630} = 8,2 \text{ шт.},$$

принимаем  $N_T = 9$  шт.

Активная нагрузка на один трансформатор

$$P_1 = \frac{\sum(P_p^H + P_{п.о})}{N_T} = \frac{3622,6}{9} = 402,5 \text{ кВт.}$$

Число трансформаторов для установки в цехах предприятия (корпус №1)

$$N_{т.i} = \frac{P_{п.i}}{P_1} = \frac{48,4}{402,5} = 0,12 \text{ шт.}$$

Нагрузки цехов объединяются таким образом, чтобы трансформаторные подстанции были загружены оптимально, а количество трансформаторов было в пределах расчетного числа трансформаторов.

Результаты расчетов располагаются в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Число трансформаторов в цехах предприятия

Наименования цехов		Категория	Р <sub>р.и</sub> , кВт	Количество тр-ов N <sub>i</sub> , шт
1	Административное помещение	II	48,4	0,12
2	Цех полуфабрикатов	II	461,1	1,15
3	Консервный цех	II	131,1	0,33
4	Холодильник	II	179,5	0,45
5	Насосная	II	64,5	0,16
6	Электролитный жестяно-баночный цех	II	105,4	0,26
7	РМЦ	III	140,1	0,35
8	Компрессорная	II	138,5	0,34
9	Здание загона скота	II	14,8	0,04
10	Здание предубойного содержания скота	III	25,2	0,06
11	Холодильник	II	182,3	0,45
12	Колбасный цех	II	739,3	1,84
13	Гараж	III	27,0	0,07
14	Склад	III	123,5	0,31
15	Деревообрабатывающий цех	III	100,6	0,25
16	Котельная	II	566,7	1,41
17	Здание санбойни	III	70,9	0,18
18	Зоопарк	II	283,2	0,70
19	Овощехранилище	II	38,2	0,09
20	Электроцех	III	167,1	0,42

Для более оптимального распределения трансформаторов по территории предприятия примем трансформаторы разной мощности. Параметры принятых трансформаторов приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Данные по трансформаторам [9, стр. 157, табл. 7.3]

Тип	S <sub>ном</sub> , МВА	U <sub>вн</sub> , кВ	U <sub>нн</sub> , кВ	P <sub>хх</sub> , кВт	Q <sub>хх</sub> , кВАр	P <sub>кз</sub> , кВт	Q <sub>кз</sub> , кВАр	U <sub>к</sub> , %	I <sub>хх</sub> , %
ТМ-1000/10	1	10,0	0,4	1,55	12	10,8	55	5,5	1,20
ТМ-630/10	0,63	10,0	0,4	1,56	12,6	8,5	34,7	5,5	2,00

На основании расчетов и группирования нагрузок на генплане предприятия производим расстановку цеховых трансформаторных подстанций и проверяем загрузку трансформаторов по активной и полной мощности.

Пример расчета коэффициента загрузки по полной мощности для ТП1

$$\beta_T = \frac{P_{p,TP1}}{N_{T,TP1} \cdot S_{ном,T}} = \frac{1164,2}{2 \cdot 1000} = 0,582,$$

коэффициент загрузки соответствует норме для двухтрансформаторной подстанции.

Пример расчета коэффициента загрузки по полной мощности для ТП1

$$\beta_T = \frac{S_{p.ТП1}}{N_{T.ТП1} \cdot S_{ном.Т}} = \frac{1767,5}{2 \cdot 1000} = 0,884,$$

коэффициент загрузки не соответствует норме для двухтрансформаторной подстанции.

Результаты группирования нагрузок и расчета коэффициентов загрузки трансформаторов сведены в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

№ ТП	N <sub>т</sub> , шт	S <sub>ном.т</sub> , кВА	Потреб-ли энергии (номер по генплану)	Место расположения на генплане	P <sub>р.тп</sub> , кВт	Загрузка тр-ров по активной мощности	S <sub>р.тп</sub> , кВА	Загрузка тр-ров по полной мощности	Q <sub>р.тп</sub> , кВАр
ТП1	2	1000	1,11,12,13, 20	Цех №12	1164,2	0,582	1767,5	0,884	1311,7
ТП2	2	630	2,3,4,5	Цех №4	836,1	0,664	1059,0	0,841	624,6
ТП3	2	630	6,16,17	Цех №16	743,0	0,590	972,3	0,772	256,6
ТП4	2	630	7,8,9,10,14, 15,18,19	Цех №8	864,1	0,686	1232,9	0,979	870,0

Расчеты показали, что некоторые трансформаторные подстанции перегружены по полной мощности. Следовательно, необходимо произвести компенсацию реактивной мощности.

Пример расчета для ТП1.

Требуемое значение коэффициента мощности

$$\cos\varphi_{\text{треб}} = 0,78, \quad \text{tg}\varphi_{\text{треб}} = 0,81.$$

Начальный коэффициент мощности ТП1

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = \frac{Q_{ТП1}}{P_{ТП1}} = \frac{1311,7}{1164,2} = 1,13.$$

Расчетная мощность конденсаторных установок

$$Q_{\text{КУ.расч}} = P_{ТП1} \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{факт}} - \varphi_{\text{треб}}) = 1164,2 \cdot (1,13 - 0,78) = 369 \text{ кВАр}.$$

Принимаем к установке 6 УКРМ типа УКМ 58-0,4-100 УЗ [12].

Полная реактивная мощность, генерируемая УКРМ

$$Q_{КУ} = Q_{КУ.НОМ} \cdot n_{КУ} = 100 \cdot 6 = 600 \text{ кВАр.}$$

Полная мощность ТП1 с учетом мощности УКРМ

$$S_{ТП1} = \sqrt{P_{ТП1}^2 + (Q_{ТП1} - Q_{КУ})^2} = \sqrt{1164,2^2 + (1311,7 - 600)^2} = 1364,5 \text{ кВА.}$$

Коэффициент загрузки ТП1 с учетом компенсации реактивной мощности

$$\beta_{з.ТП1} = \frac{S_{р.ТП1}}{N_{Т.ТП1} \cdot S_{НОМ.Т}} = \frac{1364,5}{2 \cdot 1000} = 0,68,$$

коэффициент загрузки соответствует норме.

Результирующий коэффициент мощности ТП1

$$\text{tg}\varphi_{рез} = \frac{Q_{ТП1} - Q_{КУ}}{P_{ТП1}} = \frac{1311,7 - 600}{1164,2} = 0,61, \quad \text{cos}\varphi_{рез} = 0,85,$$

коэффициент мощности соответствует норме.

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Расчет компенсации реактивной мощности

№ ТП	Начальные параметры						Результирующие параметры					
	N <sub>Т</sub> , шт	P <sub>р.ТП</sub> , кВт	Q <sub>р.ТП</sub> , кВАр	cosφ <sub>треб</sub>	tgφ <sub>треб</sub>	tgφ <sub>факт</sub>	Q <sub>КУ.расч</sub> , кВАр	Q <sub>КУ.ном</sub> , кВАр	n <sub>ку</sub> , шт	S <sub>ТП</sub> , кВА	K <sub>з</sub>	cosφ <sub>рез</sub>
ТП1	2	1164,2	1311,7	0,78	0,81	1,13	368,8	100	6	1364,5	0,682	0,853
ТП2	2	836,1	624,6	0,75	0,88	0,75	-111,2	100	4	865,8	0,687	0,966
ТП3	2	743,0	256,6	0,75	0,88	0,35	-397,2	0	0	786,0	0,624	0,945
ТП4	2	864,1	870,0	0,75	0,88	1,01	109,7	100	7	880,6	0,699	0,981

Суммарная мощность компенсирующих устройств по таблице 2.7

$$Q_{КУ.Σ} = \sum (Q_{КУ.НОМ} \cdot n_{КУ}) = 1700,0 \text{ кВАр.}$$

Проверка возможности цеховых трансформаторов пропустить реактивную мощность на сторону 0,4 кВ

$$Q_1 = \sqrt{(N_T \cdot \beta \cdot S_{НОМ.Т})^2 - \left( \sum (P_p^H + P_{p.o}) \right)^2} = \\ = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000 + 6 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3622,6^2} = 1802 \text{ кВАр.}$$

## Расчетная мощность конденсаторных установок

$$Q_{\text{КУ. расч}} = \sum (Q_p^H + Q_{p.o}) - Q_1 =$$

$$= 3432,1 - 1802 = 1630,1 \text{ кВАр} > Q_{\text{КУ.}\Sigma} = 1700,0 \text{ кВАр},$$

расчетная мощность компенсирующих устройств больше, чем суммарная мощность УКРМ, выбранная для увеличения коэффициента мощности и уменьшения коэффициента загрузки трансформаторов. Следовательно, необходимо увеличить количество УКРМ.

На данном предприятии имеется синхронная высоковольтная нагрузка. Принимаем к рассмотрению двигатели типа СТД с параметрами [11, стр. 172, табл. П7.3.]

- номинальное напряжение двигателя  $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ ;
- номинальная активная мощность  $P_{\text{СД}} = 2000$ ;
- номинальная реактивная мощность  $Q_{\text{СД}} = 1000 \text{ кВАр}$ ;
- КПД  $\eta = 96,96 \%$ ;
- число двигателей  $n_{\text{СД}} = 2$ .

Коэффициент загрузки синхронных двигателей по активной мощности

$$\beta_{\text{СД}} = \frac{P_{\text{синх}}}{P_{\text{СД}} \cdot n_{\text{СД}}} = \frac{3400}{2000 \cdot 2} = 0,85,$$

где  $P_{\text{синх}}$  – синхронная нагрузка на стороне ВН, кВт.

Напряжение на зажимах синхронного двигателя

$$U_{\text{СД}} = \frac{U_{\text{ном}}^{\text{сн}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{10,0}{10,0} = 1,0.$$

Наибольшая допустимая перегрузка двигателя по реактивной мощности [11, стр. 173, табл. П7.5.]

$$\alpha_m = 1,23.$$

Суммарная располагаемая реактивная мощность двигателей

$$Q_m = \frac{n_{\text{СД}} \cdot \alpha_m \cdot Q_{\text{СД}}}{\eta} = \frac{2 \cdot 1,23 \cdot 1000}{96,96} \cdot 100 = 25,37 \text{ кВАр}.$$

Таким образом, для компенсации частично или полностью можно использовать реактивную мощность, вырабатываемую высоковольтными синхронными двигателями.

Полная расчетная мощность трансформаторов ГПП, с учетом уточненного значения компенсации реактивной мощности

$$S_{p, ГПП} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{кв})^2} = \sqrt{5472,9^2 + (4034,8 - 1700)^2} = 5950 \text{ кВА.}$$

На рисунке 2.3 приведен план предприятия с предварительным размещением трансформаторных подстанций, ГПП, РП, РУвн и трасс линий электропередачи.

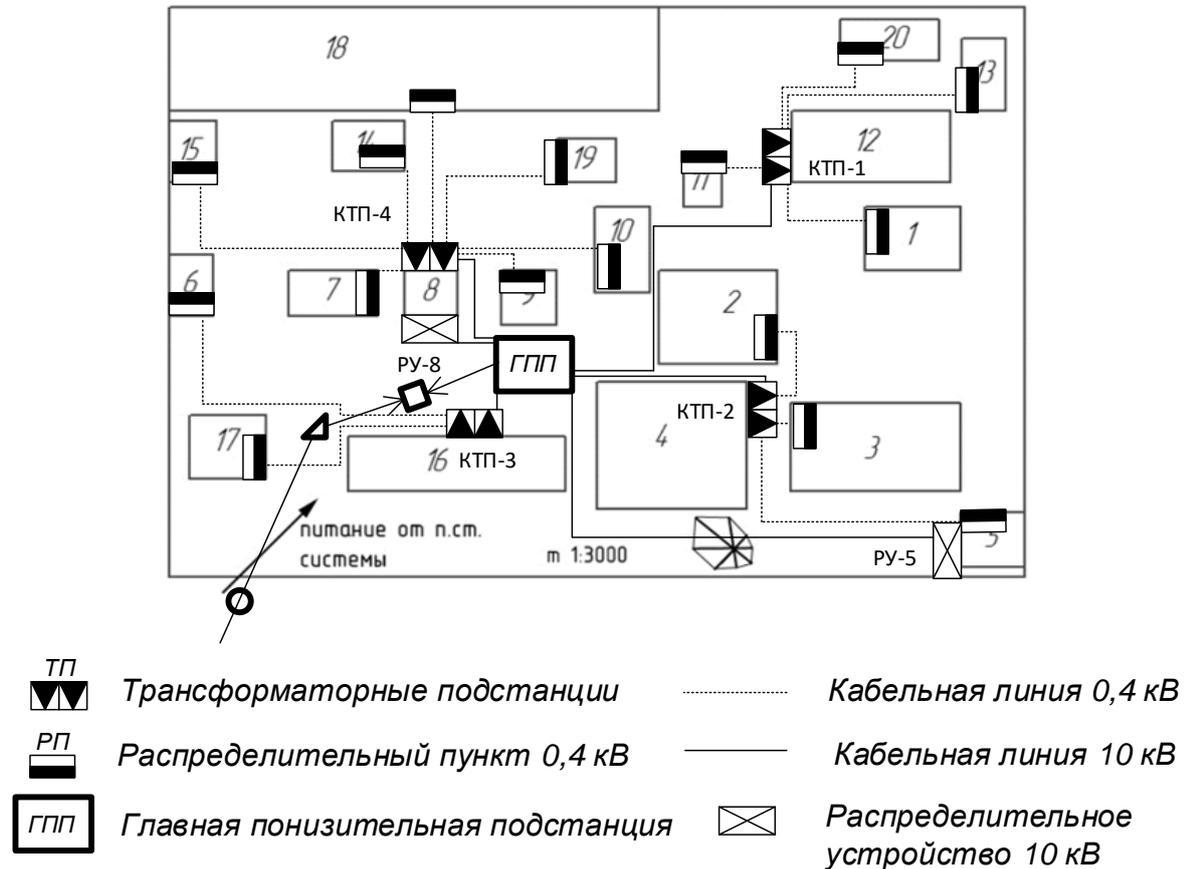


Рисунок 2.3 – План предприятия с предварительным расположением объектов электроснабжения

Разработанная схема электроснабжения надежна, так как используются преимущественно радиальные линии. Схема экономична и эффективна, так как длины линий минимальны на всех уровнях напряжения.

## 2.5. Разработка линий электроснабжения выше 1000 В по территории предприятия

Распределительная сеть выше 1000 В по территории предприятия выполняется кабельными линиями с алюминиевыми жилами марки АПвБП, проложенными в траншее.

Упрощенная схема питания цеховых трансформаторных подстанций приведена на рисунке 2.4.

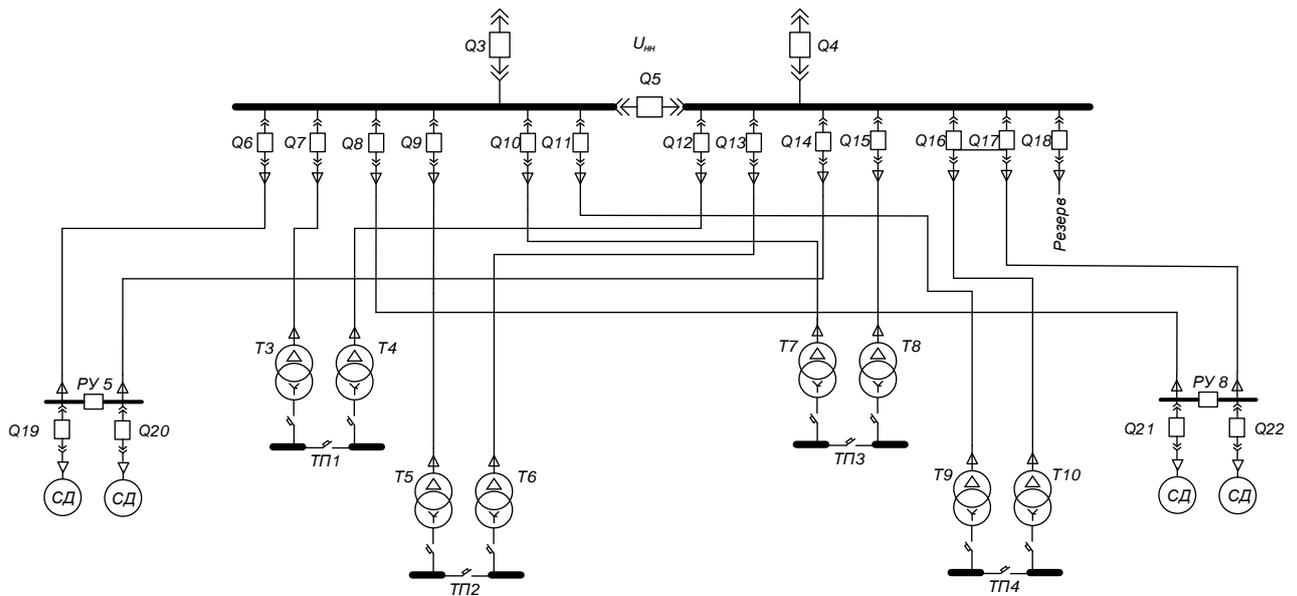


Рисунок 2.4 – Упрощенная схема питания цеховых подстанций и высоковольтных электроприёмников

Примеры расчета

Участок ГПП – ТП1

Потери мощности в трансформаторах

$$\Delta P_T = n_T \cdot (\Delta P_{XX} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{K3}) = 2 \cdot (1,55 + 0,682^2 \cdot 10,8) = 13,1 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{XX} + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_{K3}) = 2 \cdot (12 + 0,682^2 \cdot 55,0) = 75,2 \text{ кВар},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{13,1^2 + 75,2^2} = 76,3 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_T \cdot S_{\text{ном.Т}} + \Delta S_T}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000 + 76,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 59,9 \text{ А},$$

где  $S_{\text{ном.Т}}$  – номинальная мощность цехового трансформатора, кВА;

$n_T$  – количество трансформаторов, шт;

$n_{\text{ц}}$  – количество цепей питающей линии, шт.

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{n_T \cdot S_{\text{НОМ.Т}} + \Delta S_T}{(n_{\text{ц}} - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2 \cdot 100 + 76,3}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 119,8 \text{ А.}$$

Экономическое сечение

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{59,9}{1,2} = 49,9 \text{ мм}^2,$$

где  $j_{\text{э}}$  – экономическая плотность тока [16, табл. 1.3.36], А/мм<sup>2</sup>.

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения АПВБП (3х50/16) с параметрами [13]  $S = 50 \text{ мм}^2$  с  $I_{\text{доп}} = 156 \text{ А}$ .

Фактическая длина воздушной линии

$$L_{\text{факт}} = 1,03 \cdot L = 1,03 \cdot 0186 = 0,276 \text{ км},$$

где  $L$  – длина линии по генплану, км;

1,03 – 3% запас длины кабеля.

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учётом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме

$$I_{\text{доп}} = 156 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 59,9 \text{ А},$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 156 = 208,0 \text{ А} > I_{\text{расч.п/ав}} = 119,9 \text{ А}.$$

Проверка кабеля на потерю напряжения  $\Delta U_{\text{НОМ}} < 5\%$  [1, стр. 141]

$$\cos \varphi = 0,61, \quad \sin \varphi = 0,79,$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left( \frac{r_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= 3 \cdot 24,2 \cdot 0,276 \cdot \left( \frac{0,890}{2} \cdot 0,88 + \frac{0,305}{2} \cdot 0,48 \right) = 9,283 \text{ В}, \\ \Delta U_{\text{НОМ, \%}} &= \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\% = \frac{9,283}{10000} \cdot 100\% = 0,093\% < 5\%. \end{aligned}$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Дальнейшие расчеты сводим в таблицы 2.8 и 2.9.

Таблица 2.8 – Выбор сечений проводников сети выше 1000 В

Участок	Мощность участка, кВА	$\Delta S_T$ , кВА	$U_{ном}$ , кВ	$L_{факт}$ , км	$n_{ц}$ , шт	Расчетная нагрузка		$S_{э}$ , мм <sup>2</sup>	Марка и сечение	$K_{пр}$	Допустимая нагрузка	
						$I_{расч}$ , А	$I_{расч.ав}$ , А				$\Gamma_{доп}$ , А	$1,3 \cdot \Gamma_{доп}$ , А
ГПП-КТП1	2000	76,3	10	192	2	59,9	119,9	49,9	АПвБП (3х50/16)	1	156	202,8
ГПП-КТП2	1260	49,3	10	105	2	37,8	75,6	31,5	АПвБП (3х35/16)	1	138	179,4
ГПП-КТП3	1260	38,5	10	20	2	37,5	75,0	31,2	АПвБП (3х35/16)	1	138	179,4
ГПП-КТП4	1260	55,1	10	63	2	38,0	75,9	31,6	АПвБП (3х35/16)	1	138	179,4
ГПП-РУ5	2000		10	270	2	57,7	115,5	48,1	АПвБП (3х50/16)	1	156	202,8
ГПП-РУ8	2000		10	25	2	57,7	115,5	48,1	АПвБП (3х50/16)	1	156	202,8

Таблица 2.9 – Определение потерь напряжения во внутривоздушной сети

Участок	$U_{ном}$ , кВ	Марка провода	$L_{факт}$ , км	$I_{расч}$ , А	$n_{ц}$ , шт	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$\Delta U_{ном}$ , %
ГПП-ТП1	10	АПвБП (3х50/16)	0,192	59,9	2	0,822	0,204	0,611	0,79	0,115
ГПП-ТП2	10	АПвБП (3х35/16)	0,105	37,8	2	0,0176	0,103	0,747	0,66	0,005
ГПП-ТП3	10	АПвБП (3х35/16)	0,02	37,5	2	0,0176	0,103	0,345	0,94	0,001
ГПП-ТП4	10	АПвБП (3х35/16)	0,063	38	2	0,0176	0,103	0,891	0,45	0,002
ГПП-РУ5	10	АПвБП (3х50/16)	0,27	50,4	2	0,822	0,204	0,8	0,6	0,159
ГПП-РУ8	10	АПвБП (3х50/16)	0,025	56,7	2	0,822	0,204	0,8	0,6	0,017

Таким образом, был произведен выбор питающих проводников и выполнены проверки по условию нагрева и по допустимой потере напряжения. Все проводники пригодны для эксплуатации.

## 2.6. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

В электрических установках могут возникать различные виды КЗ, сопровождающихся резким увеличением тока. Поэтому электрооборудование, устанавливаемое в системах электроснабжения, должно быть устойчивым к токам КЗ и выбираться с учетом величин этих токов.

Напряжение на шинах ВН ГПП при расчете можно считать постоянным, так как предприятие получает питание от энергосистемы неограниченной мощности, это означает, что периодическая составляющая тока КЗ практически не изменяется во времени и остается постоянной от начала КЗ до его окончания.

Расчет токов КЗ ведем в относительных единицах. Для этого все расчетные данные приводятся к базисному напряжению и базисной мощности.

Для дальнейшего расчета необходимо знать параметры трансформаторов ГПП и воздушной линии, питающей предприятие.

При двух установленных на подстанции трансформаторов, при аварии с одним из параллельно работающих трансформаторов, оставшийся в работе принимает на себя его нагрузку.

Номинальная мощность трансформаторов ГПП

$$S_{т.расч} = \frac{S_{р.ГПП}}{n_{т} \cdot \beta_{т}} = \frac{5950}{2 \cdot 0,7} = 4250 \text{ кВА},$$

где  $S_{р.ГПП}$  – полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП, кВА;

$\beta_{т}$  – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП;

$n_{т}$  – число трансформаторов на ГПП.

Полученное значение  $S_{т.расч}$  округляется до ближайшего большего стандартного значения. Исходя из расчета, принимаем к установке на главной понизительной подстанции двухобмоточные трансформаторы марки ТМН-6300/35 с номинальной мощностью  $S_{т} = 6300$  кВА.

Проверяем установленную мощность трансформатора в послеаварийном режиме при отключении одного из трансформаторов

$$S_{p,ГПП} = 5950 \text{ кВА} < 1,4 \cdot S_{\text{НОМ.Т}} = 1,4 \cdot 6300 = 8820 \text{ кВА.}$$

Следовательно, выбранная мощность трансформаторов обеспечивает электроснабжение предприятия в послеаварийном режиме.

Таблица 2.10 – Параметры трансформаторов [15]

Тип	$S_{\text{НОМ}}$ , МВА	$U_{\text{ВН}}$ , кВ	$U_{\text{НН}}$ , кВ	$P_{\text{ХХ}}$ , кВт	$Q_{\text{ХХ}}$ , кВАр	$P_{\text{КЗ}}$ , кВт	$Q_{\text{КЗ}}$ , кВАр	$U_{\text{К}}$ , %	$I_{\text{ХХ}}$ , %
ТМН-6300/35	6,3	35,0	11,0	8	50,4	46,5	472,5	7,5	0,8

Выбор сечения провода проводится по экономической плотности тока.

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{p,ГПП}}{n_{\text{Ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{5950}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 49 \text{ А.}$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{S_{p,ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{5950}{\sqrt{3} \cdot 35} = 98 \text{ А.}$$

Экономическое сечение

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{49}{1} = 49 \text{ мм}^2,$$

где  $j_{\text{э}}$  – нормированное значение экономической плотности тока с учетом числа часов использования максимальной нагрузки [16, табл. 1.3.36], А/мм<sup>2</sup>.

Из стандартного ряда сечений принимаем сталеалюминевый провод марки АС-120/19 с  $I_{\text{доп}} = 390 \text{ А}$  [15, стр. 82, табл. 3.15.].

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

$$I_{\text{расч.п/ав}} < 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 390 = 507,0 \text{ А.}$$

Проверка выполняется.

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

– Проверка по допустимой потере напряжения

$$L_{\text{доп}} = L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{расч}}} = 3,09 \cdot 5 \cdot \frac{390}{49} = 123 \text{ км} > L_{\text{факт}} = 3,0 \text{ км,}$$

где  $\Delta U_{\text{доп}}$  – допустимое значение потери напряжения [1, стр. 27], %;

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

$L_{\Delta U 1\%}$  – длина линии при полной нагрузке, на которой потеря напряжения равна 1% [14, стр. 440, табл. П.4].

Проверка выполняется.

– Проверка на корону: для линий 35 кВ не проводится.

Для расчетов токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения, рисунок 2.5 и на её основе схему замещения, рисунок 2.6. Расчетная схема представляет собой упрощенную однолинейную схему, на которой указывают все элементы системы электроснабжения и их параметры, влияющие на ток КЗ. Здесь же указывают точки, в которых необходимо определить ток КЗ.

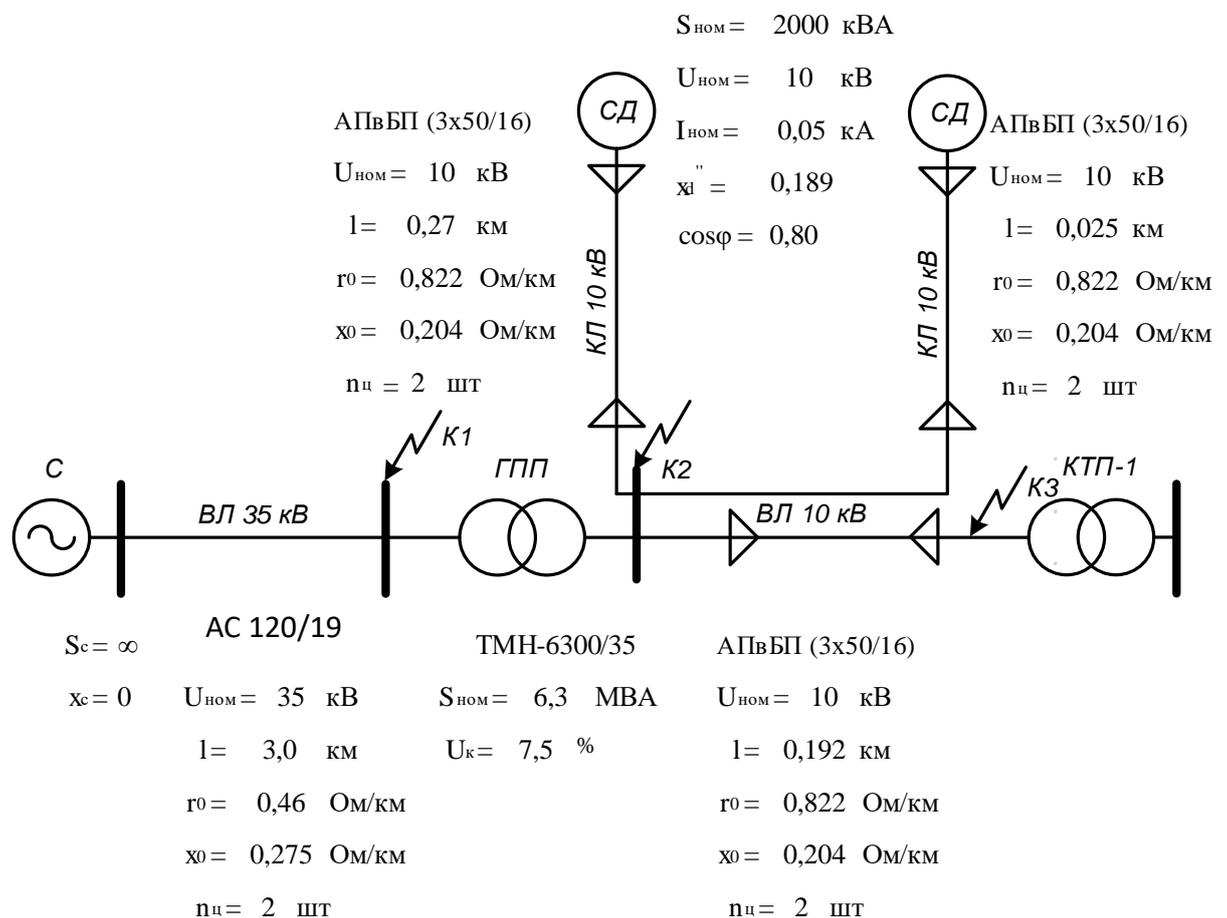


Рисунок 2.5 – Расчетная схема рассматриваемого участка

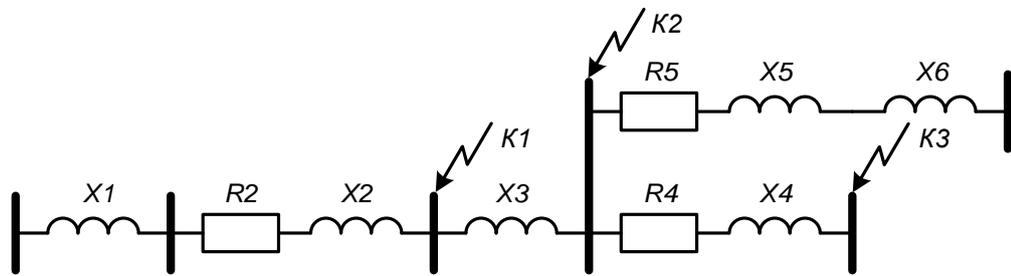


Рисунок 2.6 – Схема замещения рассматриваемого участка

Принимаем базисные величины

$$S_{\text{б}} = 100 \text{ МВА}, \quad U_{\text{ср.ном1}} = 37,0 \text{ кВ}, \quad U_{\text{ср.ном2}} = 10,5 \text{ кВ},$$

$$I_{\text{б1}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном1}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37,0} = 1,560 \text{ кА},$$

$$I_{\text{б2}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном2}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА}.$$

Параметры схемы замещения

Система

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

Воздушная линия

$$R_2 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном1}}^2} = 0,46 \cdot 3,0 \cdot \frac{100}{2 \cdot 37,0^2} = 0,0504,$$

$$X_2 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном1}}^2} = 0,275 \cdot 3,0 \cdot \frac{100}{2 \cdot 37,0^2} = 0,0301.$$

Трансформаторы

$$X_3 = \frac{U_{\text{к, \%}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,19.$$

Кабель, питающий КТП-1

$$R_4 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,822 \cdot 0,192 \cdot \frac{100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,0716,$$

$$X_4 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,204 \cdot 0,192 \cdot \frac{100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,0178.$$

Кабельная линия, питающая высоковольтный двигатель

$$R'_5 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,822 \cdot 0,27 \cdot \frac{100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,1006,$$

$$X'_5 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{ц} \cdot U_{ср.ном2}^2} = 0,204 \cdot 0,27 \cdot \frac{100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,025.$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$R_5 = \frac{R'_5}{n_{д}} = \frac{0,1006}{2} = 0,0503, \quad X_5 = \frac{X'_5}{n_{д}} = \frac{0,025}{2} = 0,012,$$

Высоковольтный двигатель

сопротивление одного двигателя

$$X'_6 = \frac{x''_d \cdot S_6}{S_{ном}} = \frac{0,189 \cdot 100}{2} = 9,45,$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$X_6 = \frac{X'_6}{n_{д}} = \frac{9,45}{2} = 4,725.$$

а) Точка К1

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К1

$$R_C = R_2 = 0,0504, \quad X_C = X_1 + X_2 = 0 + 0,0301 = 0,0301.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К1

$$R_{д} = R_5 = 0,0503, \quad X_{д} = X_3 + X_5 + X_6 = 1,19 + 0,012 + 4,725 = 5,927.$$

Результирующее сопротивление в точке К1

$$R_{рез1} = \frac{R_C \cdot R_{д}}{R_C + R_{д}} = \frac{0,0504 \cdot 0,0503}{0,0504 + 0,0503} = 0,0252,$$

$$X_{рез1} = \frac{X_C \cdot X_{д}}{X_C + X_{д}} = \frac{0,0301 \cdot 5,927}{0,0301 + 5,927} = 0,03,$$

$$Z_{рез1} = \sqrt{R_{рез1}^2 + X_{рез1}^2} = \sqrt{0,0252^2 + 0,03^2} = 0,039.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К1

$$I_{к1} = \frac{I_{б1}}{Z_{рез1}} = \frac{1,560}{0,039} = 40 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a1} = \frac{X_{рез1}}{\omega \cdot R_{рез1}} = \frac{0,03}{314 \cdot 0,0252} = 0,0038 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд1} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,0038} = 1,072.$$

Ударный ток КЗ в точке К1

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{к1} = \sqrt{2} \cdot 1,072 \cdot 40 = 60,6 \text{ кА.}$$

б) Точка К2

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К2

$$R_C = R_2 = 0,0504, \quad X_C = X_1 + X_2 + X_3 = 0 + 0,0301 + 1,19 = 1,2201.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К2

$$R_D = R_5 = 0,0503, \quad X_D = X_5 + X_6 = 0,012 + 4,725 = 4,737.$$

Результирующее сопротивление в точке К2

$$R_{рез2} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,0504 \cdot 0,0503}{0,0504 + 0,0503} = 0,0252,$$

$$X_{рез2} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{1,2201 \cdot 4,737}{1,2201 + 4,737} = 0,97,$$

$$Z_{рез2} = \sqrt{R_{рез2}^2 + X_{рез2}^2} = \sqrt{0,0252^2 + 0,97^2} = 0,97.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К2

$$I_{к2} = \frac{I_{62}}{Z_{рез2}} = \frac{5,499}{0,97} = 5,67 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a2} = \frac{X_{рез2}}{\omega \cdot R_{рез2}} = \frac{0,97}{314 \cdot 0,0252} = 0,1226 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд2} = 1 + e^{-0,01/T_{a2}} = 1 + e^{-0,01/0,1226} = 1,921.$$

Ударный ток КЗ в точке К2

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2} \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,921 \cdot 5,67 = 15,4 \text{ кА.}$$

в) Точка К3

Сопротивление от источника до точки К3

$$R_{рез3} = R_{рез2} + R_4 = 0,0252 + 0,0716 = 0,0968,$$

$$X_{рез3} = X_{рез2} + X_4 = 0,97 + 0,0178 = 0,9878,$$

$$Z_{рез3} = \sqrt{R_{рез3}^2 + X_{рез3}^2} = \sqrt{0,0968^2 + 0,9878^2} = 0,992.$$

Действующее значение тока КЗ в точке КЗ

$$I_{кз} = \frac{I_{б2}}{Z_{рез3}} = \frac{5,499}{0,992} = 5,543 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{аз} = \frac{X_{рез3}}{\omega \cdot R_{рез3}} = \frac{0,9878}{314 \cdot 0,0968} = 0,0325 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд3} = 1 + e^{-0,01/T_{аз}} = 1 + e^{-0,01/0,0325} = 1,735.$$

Ударный ток КЗ в точке КЗ

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot k_{уд3} \cdot I_{кз} = \sqrt{2} \cdot 1,735 \cdot 5,543 = 13,6 \text{ кА.}$$

Полученное по экономической плотности тока сечение кабельных линий необходимо проверить на термическую стойкость при коротком замыкании.

Проверка кабельной линии ГПП–ТП1

Тепловой импульс тока короткого замыкания

$$B_k = I_{к2}^2 \cdot (\tau + T_{а2}) = 5,67^2 \cdot (0,07 + 0,1226) = 5946630,5 \text{ А}^2 \cdot \text{сек,}$$

где  $\tau$  – расчетное время срабатывания выключателя [18, стр. 630, табл. П4.4], с.

Термически стойкое сечение равно

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{\sqrt{5946630,5}}{90} = 27,1 \text{ мм}^2 < S_{\text{факт}} = 50 \text{ мм}^2,$$

где  $C_T$  – коэффициент, зависящий от материала проводника [1, стр. 28]  $\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2$ ;

$S_{\text{факт}}$  – сечение линии, питающей подстанцию,  $\text{мм}^2$ .

Предварительно выбранное сечение по термической стойкости проходит.

Расчет токов КЗ по остальным участкам сведем в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	$U_{\text{ср.ном.}}$ , кВ	$I_b$ , кА	$R_{\text{рез}}$	$X_{\text{рез}}$	$Z_{\text{рез}}$	$I_k$ , кА	$T_a$ , с	$k_{уд}$	$i_{уд}$ , кА	$B_k$ , $\text{А}^2 \cdot \text{с}$	$S_{\min}$ , $\text{мм}^2$
К1	37,0	1,560	0,0252	0,03	0,039	40	0,0038	1,072	60,6	–	–
К2	10,5	5,499	0,0252	0,97	0,97	5,67	0,1226	1,921	15,4	5946630,5	27,1
К3	10,5	5,499	0,0968	0,9878	0,992	5,543	0,0325	1,735	13,6	–	–

По результатам расчета токов короткого замыкания выбранные проводники были проверены на термическую стойкость. Расчет показал, что выбранные сечения превышают минимально допустимое.

## 2.7. Разработка линий электроснабжения до 1000 В по территории предприятия

Выбор сечений питающей линий производится по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева. Линии, питающие распределительные пункты, проверяются по допустимой потере напряжения.

Для питания РП принимаем кабель марки АПВБП. Питание осуществляем по радиальным линиям.

Пример расчета проводника, питающего РП1

Мощность нагрузки РП

$$P_p = 48,4 \text{ кВт}, \quad Q_p = 42,6 \text{ кВАр}, \quad S_p = 64,5 \text{ кВА}.$$

Расчётный ток РП

$$I_p = \frac{S_p}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{64,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 98 \text{ А}.$$

Намечаем кабель марки АВББШв (4х10) с  $I_{\text{доп}} = 150 \text{ А}$  [19].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 150 \text{ А} > I_p = 98 \text{ А}.$$

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,748 \cdot 98 \cdot 0,057 = 4\% < 5\%,$$

где  $l$  – длина рассматриваемой линии с запасом длины провода на стрелу провеса 3%, км;

5% – допустимое значение потерь напряжения;

$\Delta U_0$  – потеря напряжения в трехфазных сетях 380 В [10, стр. 91, табл. П.2.11], % / (А·км).

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

Расчёт по остальным участкам сведём в таблицу 2.12.

Таблица 2.12 – Выбор и проверка проводников 0,4 кВ

Участок	$P_p$ ,	$Q_p$ ,	$S_p$ ,	$I_p$ ,	Марка и сечение проводника	$I_{доп}$ ,	$\Delta U_0$ ,	$l$ ,	$\Delta U$ ,
	кВт	кВАр	кВА	А		А	%/(А·км)	км	%
КТП1-РП1	48,4	42,6	64,5	98,0	АВБШв (4x50)	150	0,748	0,057	2,08911308
КТП1-РП11	182,3	136,7	227,9	346,2	АВБШв 2x(4x120)	252	0,106	0,021	0,38538541
КТП1-РП13	27	23,8	36	54,6	АВБШв (4x16)	82	0,748	0,1	2,04564316
КТП1-РП20	167,1	125,3	208,9	317,7	АВБШв (4x95)	221	0,106	0,063	1,05976759
КТП2-РП2	461,1	249,85	524,8	797,4	АВБШв 2x(4x240)	374	0,0692	0,051	2,81418408
КТП2-РП3	131,1	174,3	218,1	331,4	АВБШв 2x(4x120)	252	0,106	0,01	0,17562539
КТП3-РП6	105,4	140,2	175,4	266,4	АВБШв 2x(4x70)	184	0,106	0,055	0,77682631
КТП3-РП17	70,9	53,2	88,6	134,6	АВБШв (4x70)	184	0,321	0,165	3,56490925
КТП4-РП7	140,1	186,4	233,2	354,4	АВБШв 2x(4x120)	252	0,106	0,015	0,28167704
КТП4-РП9	14,8	11,1	18,5	28,2	АВБШв (4x10)	63	0,748	0,039	0,40998098
КТП4-РП10	25,2	18,9	31,5	47,8	АВБШв (4x16)	82	0,748	0,069	1,23505706
КТП4-РП14	123,5	92,6	154,4	234,6	АВБШв (4x70)	132	0,134	0,3	4,71518926
КТП4-РП15	100,6	133,8	167,4	254,4	АВБШв 2x(4x70)	184	0,134	0,135	2,30048709
КТП4-РП18	283,2	252	379,1	576,0	АВБШв 2x(4x240)	374	0,0692	0,6	3,9574042
КТП4-РП19	38,2	34	51,1	77,6	АВБШв (4x25)	106	0,748	0,108	3,13597097

Таким образом, были выбраны проводники на напряжение 0,4 кВ, питающие распределительные пункты. Проверка по нагреву расчетным током и по потере напряжения показали, что проводники пригодны для эксплуатации.

### 3. Внешнее электроснабжение предприятий

Понижающая подстанция состоит из трех основных частей: открытого распределительного устройства 35 кВ; силового трансформатора; закрытого распределительного устройства 10 кВ.

В данной работе рассматривается вариант тупиковой подстанции. Основными элементами открытого распределительного устройства являются: разъединители, отделители и короткозамыкатели; измерительные трансформаторы тока и напряжения; высоковольтный выключатель.

Основным элементом понижающей подстанции служит силовой трансформатор с напряжением первичной обмотки 35 кВ.

Для распределения электрической энергии на напряжении 10 кВ требуется разработка закрытого распределительного устройства. Размер этого устройства напрямую зависит от количества присоединений на данном напряжении. Каждое присоединение к шинам 10 кВ требует отдельную ячейку КРУ. В общем случае,

для нормального функционирования распределительной сети требуется не только подключить все цеховые трансформаторные подстанции, но и устройства компенсации реактивной мощности 10 кВ, измерительные трансформаторы 10 кВ и оставить места под резервные линии.

### **3.1. Разработка схемы внешнего электроснабжения**

Состав оборудования открытого распределительного устройства подстанции определяется его главной схемой соединений. В настоящее время оборудование выбранной схемы ОРУ может поставляться комплектно.

В пункте 2.2 было рассчитано экономически целесообразная величина напряжения питающих линий по формуле Илларионова. С учетом рекомендаций было принято напряжение питающих линий  $U_{ном} = 35$  кВ.

Принимаем схему внешнего электроснабжения в виде двух блоков с выключателями Q1 и Q2 и неавтоматической перемычкой [22]. При нарушении в трансформаторе T1, сработает защита и подаст сигнал на отключение выключателя в цепях трансформатора на низкой Q4 и высокой Q2 стороне. Секционный выключатель низкой стороны Q5 подключит секцию, оставшуюся без напряжения.

Разъединители QS3 и QS4 в ремонтной перемычке нормально отключены. В случае вывода в ремонт трансформатора T2 или выключателя в цепи трансформатора Q2 или Q4 есть возможность оставить в работе обе питающие линии путем включения разъединителей перемычки QS3 и QS4. При этом сначала включается перемычка, а затем отключаются цепи трансформатора. Схема представлена на рисунке 3.1.



напряжения, на механическую прочность и на корону. Марка провода и сечение линии принято АС-120/19.

### 3.2. Выбор силового оборудования

#### 3.2.1. Выбор выключателей и разъединителей

Намечаем к установке на стороне ВН трансформатора ГПП элегазовый выключатель ВВУ-35-40/630-УХЛ1.

Намечаем к установке на стороне НН трансформатора ГПП электромагнитный выключатель ВЭ-10-20/1250-У3.

Параметры выключателя приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры выключателя [23, 24]

№	Параметр	Значение	
		ВВУ	ВЭ
1	Тип	ВВУ	ВЭ
2	Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ , кВ	35	10
3	Номинальный ток $I_{\text{ном}}$ , А	630	630
4	Номинальный ток отключения $I_{\text{отк.ном}}$ , кА	50	20
5	Ток электродинамической стойкости $I_{\text{дин}}$ , кА	50	20
6	Пик тока электродинамической стойкости $i_{\text{дин}}$ , кА	63	51
7	Ток термической стойкости $I_{\text{тер}}$ , кА	25,0	20,0
8	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{\text{тер}}$ , с	3	3
9	Полное время отключения выключателя $t_{\text{отк.в}}$ , с	0,06	0,05
10	Климатическое исполнение	ХЛ1	У3

Пример выбора выключателя на стороне ВН трансформатора ГПП

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

$$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ};$$

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

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{5950}{\sqrt{3} \cdot 35,0} = 98,1 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 630 \text{ А};$$

– по отключающей способности  $I_{\text{n,t}} \leq I_{\text{отк.ном}}$

$$I_{\text{n,t}} = 40 \text{ кА} < I_{\text{n,t}} = 50,0 \text{ кА};$$

– на электродинамическую стойкость  $I_{\text{n,0}} \leq I_{\text{дин}}$ ,  $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$

$$I_{\text{n,0}} = 4, \text{ кА} < I_{\text{дин}} = 50,0 \text{ кА};$$

$$i_{уд} = 60,6 \text{ кА} < i_{дин} = 63 \text{ кА};$$

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

$$B_k = I_{п,0}^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{отк.в} + T_a) = 40^2 \cdot (1,2 + 0,06 + 0,121) = 2209 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

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

$$B_k = 2209 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель проходит по результатам проверок.

Намечаем к установке на высокой стороне трансформатора ГПП разъединитель РДЗ-35/1000-УХЛ1.

Так как на низкой стороне используются выкатные тележки, то разъединитель не устанавливается.

Параметры разъединителя приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры разъединителя [18, стр. 630, табл. П4.4]

№	Параметр	Значение
1	Тип	РДЗ
2	Номинальное напряжение $U_{ном}$ , кВ	35
3	Номинальный ток $I_{ном}$ , А	1000
4	Амплитуда предельного сквозного тока $i_{пр.с}$ , кА	63
5	Ток термической стойкости $I_{тер}$ , кА	25,0
6	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{тер}$ , с	4
7	Климатическое исполнение	УХЛ1

Пример выбора разъединителя на стороне ВН трансформатора ГПП

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

$$U_{уст} = 35 \text{ кВ} = U_{ном} = 35 \text{ кВ};$$

– по току  $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = 98,1 \text{ А} < I_{ном} = 1000 \text{ А};$$

– на электродинамическую стойкость  $i_{уд} \leq i_{пр.с}$

$$i_{уд} = 60,6 \text{ кА} < i_{пр.с} = 63 \text{ кА};$$

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

$$B_k = 2209 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 25,0^2 \cdot 4 = 2500,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Разъединитель проходит по результатам проверок.

Оборудование выбираем одностипное, т.е. все выключатели и разъединители на высокой стороне будут одной марки.

Дальнейший расчет сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Выбор выключателей и разъединителей

Расчетные данные	Выключатель ВВУ-35-40/630-УХЛ1	Разъединитель РДЗ-35/1000-УХЛ1
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
$I_{max} = 98,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{н,t} = 40 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 50 \text{ кА}$	–
$I_{н,0} = 40 \text{ кА}$	$I_{дин} = 50 \text{ кА}$	–
$i_{уд} = 60,6 \text{ кА}$	$i_{дин} = 63 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 63 \text{ кА}$
$W_k = 2209 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 7500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Расчетные данные	Выключатель ВЭ-10-20/1250-У3	Разъединитель
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	Используется выкатная тележка
$I_{max} = 343 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	
$I_{н,t} = 5,67 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$	
$I_{н,0} = 5,67 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$	
$i_{уд} = 15,4 \text{ кА}$	$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	
$W_k = 44,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	

### 3.2.2. Выбор измерительных трансформаторов тока

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

Основными приборами, которые подключаются к трансформаторам тока на понизительных подстанциях являются амперметры, ваттметры, варметры и счетчики активной и реактивной энергии [18, стр. 371, рис. 4.104; 18, стр. 362, табл. 4.11]. Нагрузка трансформаторов тока представлена в таблице 3.4 [18, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 3.4 – Нагрузка трансформаторов тока

Место установки	Прибор	Тип	Нагрузка, В·А		
			А	В	С
Сторона ВН трансформатора ГПП	Амперметр	Э – 350	0,5	—	0,5
	Амперметр	Э – 350	0,5	—	0,5
Итого:			1,0	—	1,0
Сторона НН трансформатора ГПП	Амперметр	Э – 350	—	0,5	—
	Ваттметр	Д – 335	0,5	—	0,5
	Варметр	Д – 335	0,5	—	0,5
	Счетчик W	СЭТ-4ТМ	2,5	—	2,5
	Счетчик V	СЭТ-4ТМ	2,5	—	2,5
Итого:			6,0	0,5	6,0

Намечаем трансформаторы тока ТФЗМ35Б У1 и ТШЛ-10 У3.

Параметры трансформатор тока приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Параметры трансформаторов тока [25, стр. 294, табл. 5.9]

№	Параметр	Значение	
		ТФЗМ	ТШЛ
1	Тип	ТФЗМ	ТШЛ
2	Номинальное напряжение $U_{ном}$ , кВ	35	10
3	Номинальный ток $I_{ном}$ , А	150	2000
4	Вторичный номинальный ток трансформатора тока $I_2$ , А	5	5
5	Ток электродинамической стойкости $i_{дин}$ , кА	21	—
6	Ток термической стойкости $I_{тер}$ , кА	4,7	—
7	Кратность	—	35
8	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{тер}$ , с	3	3
9	Вторичная номинальная нагрузка трансформатора тока $Z_{2ном}$ , Ом	1,2	0,8
10	Класс точности	0,5	0,5
11	Климатическое исполнение	У1	У3

Пример выбора трансформатора тока на стороне ВН трансформатора ГПП.

Из таблицы 3.4 видно, что наиболее загружены фазы А и С. Для них ведем расчет.

Проверка трансформаторов тока

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

$$U_{уст} = 35 \text{ кВ} = U_{ном} = 35 \text{ кВ};$$

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

$$I_{\max} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{5950}{\sqrt{3} \cdot 35,0} = 98,1 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 150 \text{ А};$$

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

Общее сопротивление приборов, подключенных к трансформатору тока

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{1,0}{5^2} = 0,04 \text{ Ом},$$

где  $S_{\text{приб}}$  – мощность, потребляемая приборами (таблица 3.4).

Допустимое сопротивление проводников

$$r_{\text{пр,доп}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}} = 1,2 - 0,04 - 0,05 = 1,11 \text{ Ом},$$

где  $r_{\text{к}}$  – сопротивления контактов (0,05 Ом при двух-трех приборах; 0,1 Ом при большем количестве приборов) [18, стр. 374].

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

$$q_{\text{расч}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 8}{1,11} = 0,20 \text{ мм}^2,$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление алюминиевого провода [18, стр. 374], Ом/мм<sup>2</sup>;

$l_{\text{пр}}$  – длина провода [18, стр. 375], м.

Принимаем кабель марки АКРВГ сечением  $q = 4 \text{ мм}^2$  [18, стр. 375].

Тогда сопротивление кабеля

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{q} = \frac{0,0283 \cdot 8}{4} = 0,057 \text{ Ом}.$$

Тогда вторичная нагрузка трансформатора тока

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} = 0,04 + 0,057 + 0,05 = 0,147 \text{ Ом} < Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}.$$

– проверка трансформатора тока на электродинамическую стойкость  $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$

$$i_{\text{уд}} = 15,4 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 21 \text{ кА};$$

– проверка трансформатора тока на термическую стойкость  $B_{\text{к}} \leq I_{2\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}}$

$$B_{\text{к}} = 44,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 5^2 \cdot 3 = 66,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Трансформатор тока проходит по результатам проверок.

Трансформатор тока на низкой стороне трансформатора ГПП выбирается аналогично. Поэтому дальнейшие расчеты сведем в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Выбор трансформаторов тока в цепях трансформатора ГПП

Тип ТТ	Расчетные данные	Каталожные данные
ТТ1, ТТ2 Сторона ВН трансформатора	$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 98,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 150 \text{ А}$
	$B_k = 2209 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 14700 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 15,4 \text{ кА}$	$I_{дин} = 21 \text{ кА}$
	$r_2 = 0,147 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом}$
ТТ3, ТТ4 Сторона НН трансформатора	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 370 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$
	$B_k = 44,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 66,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 8,0 \text{ кА}$	не проверяется
	$r_2 = 0,397 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 0,800 \text{ Ом}$

### 3.2.3. Выбор измерительных трансформаторов напряжения

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

Основными приборами, которые подключаются к трансформаторам напряжения на понизительных подстанциях являются вольтметры, ваттметры, варметры, частотомеры и счетчики активной и реактивной энергии [18, стр. 371, рис. 4.104; 18, стр. 362, табл. 4.11]. Нагрузка трансформаторов напряжения представлена в таблице 3.7 [18, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 3.7 – Нагрузка трансформаторов напряжения

Место установки	Прибор	Тип	$S_{обм}, \text{ В} \cdot \text{А}$	$n_{обм}, \text{ шт}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{приб}, \text{ шт}$	Потр. мощн.	
								P, Вт	Q, ВАр
Сторона ВН трансформатора ГПП	Вольтметр	Э – 335	2,0	1	1	0	1	2,0	0,0
	Вольтметр	Н – 393	10,0	1	1	0	1	10,0	0,0
	Частотомер	Н – 397	7,0	1	1	0	1	7,0	0,0
Итого:								19,0	0,0
Сторона НН трансформатора ГПП	Вольтметр	Э – 335	2,0	1	1	0	2	4,0	0,0
	Ваттметр	Э – 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Варметр	Д – 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Счетчик W	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	7	0,14	0,0
	Счетчик V	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	7	0,14	0,0
Итого:								10,3	0,0

Намечаем к установке на стороне ВН трансформатора ГПП трансформатор напряжения ЗНОМ-35 У1.

Намечаем к установке на стороне НН трансформатора ГПП трансформатор напряжения НТМИ-10

Параметры трансформаторов напряжения приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Параметры трансформаторов напряжения [25, стр. 326, табл. 5.13]

№	Параметр	Значение	
		ЗНОМ	НТМИ
1	Тип	ЗНОМ	НТМИ
2	Номинальное напряжение $U_{\text{НОМ}}$ , кВ	35	10
3	Номинальная мощность $S_{\text{НОМ}}$ , В·А	150	120
4	Класс точности	0,5	0,5
5	Климатическое исполнение	У1	У3

а) Проверка трансформаторов напряжения на стороне ВН трансформатора.

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

$$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ} = U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ};$$

– проверка трансформатора напряжения по вторичной нагрузке  $S_2 \leq S_{\text{НОМ}}$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 3.7

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{19,0^2 + 0^2} = 19,0 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{НОМ}} = 150 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напряжения проходит по результатам проверок.

б) Проверка трансформаторов напряжения на стороне НН трансформатора.

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

$$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ} = U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ};$$

– проверка трансформатора напряжения по вторичной нагрузке  $S_2 \leq S_{\text{НОМ}}$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 3.7

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{10,2^2 + 0^2} = 10,2 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{НОМ}} = 120 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напряжения проходит по результатам проверок.

Для соединения трансформаторов напряжения с приборами принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил  $q = 4 \text{ мм}^2$  по условию механической прочности [18, стр. 375].

### 3.2.4. Выбор ограничителя перенапряжения

Так как неизвестны все параметры рассматриваемой сети, то примем ограничитель по напряжению установки.

Принимаем к установке ограничитель напряжения марки ОПН-35.

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

$$U_{уст} = 35 \text{ кВ} = U_{ном} = 35 \text{ кВ.}$$

Проверка выполняется.

### 3.2.5. Выбор трансформаторов собственных нужд

Состав собственных нужд подстанций зависит от типа подстанции, мощности трансформаторов, типа электрооборудования.

На подстанции имеются следующие нагрузки собственных нужд [18, стр. 640, табл. П.6.2]:

– подогрев выключателей ОРУ

$$P_{\text{выкл}\Sigma} = n_{\text{выкл}} \cdot P_{\text{выкл}} = 2 \cdot 4,4 = 8,8 \text{ кВт.}$$

– подогрев шкафов

$$P_{\text{шк}\Sigma} = n_{\text{шк}} \cdot P_{\text{шк}} = 22 \cdot 1,0 = 22,0 \text{ кВт.}$$

– отопление, освещение, вентиляция ЗРУ

$$P_{\text{о.ЗРУ}} = 20,0 \text{ кВт.}$$

– освещение ОРУ

$$P_{\text{о.ОРУ}} = 5,0 \text{ кВт.}$$

Установленная мощность нагрузки собственных нужд

$$P_{уст} = P_{\text{выкл}\Sigma} + P_{\text{шк}\Sigma} + P_{\text{о.ЗРУ}} + P_{\text{о.ОРУ}} = 8,8 + 22,0 + 20,0 + 5,0 = 55,8 \text{ кВт.}$$

Мощность трансформатора собственных нужд

$$S_{тр} \geq P_{расч} = k_c \cdot P_{уст} = 0,8 \cdot 55,8 = 44,6 \text{ кВт,}$$

где  $k_c$  – коэффициент спроса [18, стр. 475].

Принимаем к установке два трансформатора типа ТСН-63.

### **3.3. Разработка схемы закрытого распределительного устройства**

Распределительное устройство 10 кВ представляет собой набор ячеек КРУ, объединенных общей шиной. Все ячейки расположены в модельном здании в одном зале. Количество ячеек зависит от количества подключений. Под подключениями понимаются как потребители, так и вспомогательное оборудование, компенсирующие устройства, трансформаторы напряжения, секционный аппарат и вводные аппараты.

При электроснабжении потребителей первой и второй категории необходимо две секции шин. В каждой секции находится одна ячейка с выключателем для подключения к питающему трансформатору. Секционный выключатель устанавливается на первой секции шин, а на второй секции ячейка с одним разъединителем.

Для подключения потребителей устанавливаются ячейки с выключателями по количеству присоединений к каждой шине.

Для подключения УКРМ выделяется по ячейке с выключателем на каждую секцию.

Для подключения трансформаторов напряжения выделяется по ячейке с разъединителем, разрядником и предохранителем на каждую секцию.

Собственные нужды подстанции удовлетворяются посредством трансформаторов собственных нужд, подключенных по одному на каждую секцию через ячейку с выключателем.

Пониженное напряжение с питающих трансформаторов передается по жестким шинам через проходные изоляторы, расположенные в стене здания, на вводные выключатели, подключенные к секциям шин распределительного устройства. Камеры одностороннего обслуживания (ячейки), располагаются рядами вдоль стен здания. На торцевой стене размещаются шкафы собственных нужд. Здание оборудовано двумя выходами.

Количество, состав и назначение ячеек КРУН приведено на рисунке 3.2.

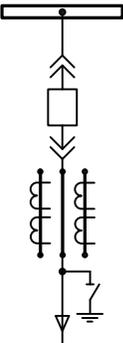
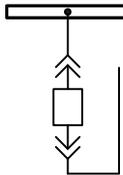
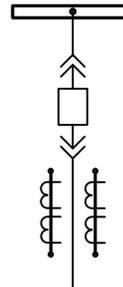
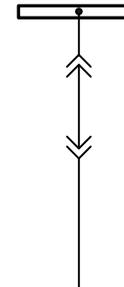
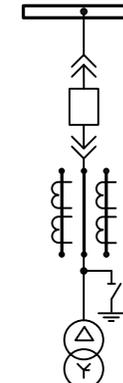
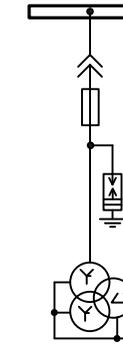
Порядковый номер ячейки в КРУ		2-8, 15-21	9, 14	11	12	1, 22	10, 13
Номинальное напряжение, кВ	10						
Номинальный ток сборных шин, А	1600						
Вид оперативного тока, значение, В	пост., 220						
Схема главных цепей							
Назначение ячейки		Линия, резерв	Ввод	Секционный выключатель	Секционный выключатель	ТСН	ТН
ТСН мощность, кВА		–	–	–	–	63	–
ТТ класс точности		0,5	–	0,5	–	0,5	–
ТН класс точности		–	–	–	–	–	0,5
Ток плавкой вставки предохранителя		–	–	–	–	–	5
Тип выключателя		ВЭ-10-20/630	ВЭ-10-20/630	ВЭ-10-20/1600	–	ВЭ-10-20/630	–
Учет электрической энергии (да/нет)		да	да	нет	нет	да	нет
Релейная защита		да	да	нет	нет	да	нет
Количество ячеек КРУ		14	2	1	1	2	2

Рисунок 3.2 – Ячейки КРУ

#### **4. Электроснабжение промышленных потребителей в здании цеха полуфабрикатов**

Электроснабжение выполняется в следующей последовательности.

Приёмники распределяются по пунктам питания и определяются расчётные электрические нагрузки.

Выбирается схема и способ прокладки сети. Выбор способа прокладки производится с учётом характера окружающей среды и возможных условий места прокладки.

Производится выбор аппаратов защиты и сечений проводников.

Производится расчёт питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения. Строится эпюра отклонения напряжений для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного и удаленного электроприёмника для режимов максимальной и минимальной нагрузок, а в случае двухтрансформаторной подстанции и послеаварийного режима.

Производится расчёт токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха. Полученные данные наносятся на карту селективности действия аппаратов защиты.

##### **4.1. Распределение электроприёмников цеха по пунктам питания**

Распределение приемников по пунктам питания осуществляется путём подключения группы электроприёмников к распределительному пункту. Рекомендуется оставлять в резерв одну-две группы, чтобы в случае установки нового оборудования не было проблем с его подключением.

Цех имеет жаркую среду, но в цехе много различного технологического оборудования. Электроприемники и распределительные пункты запитываются по радиальным линиям, проложенным в коробах и на лотках. Большая часть линий располагается в кабельном полуэтаже.

На рисунке 4.1 изображен план цеха с расположением распределительных пунктов и питаемых от них электроприемников.

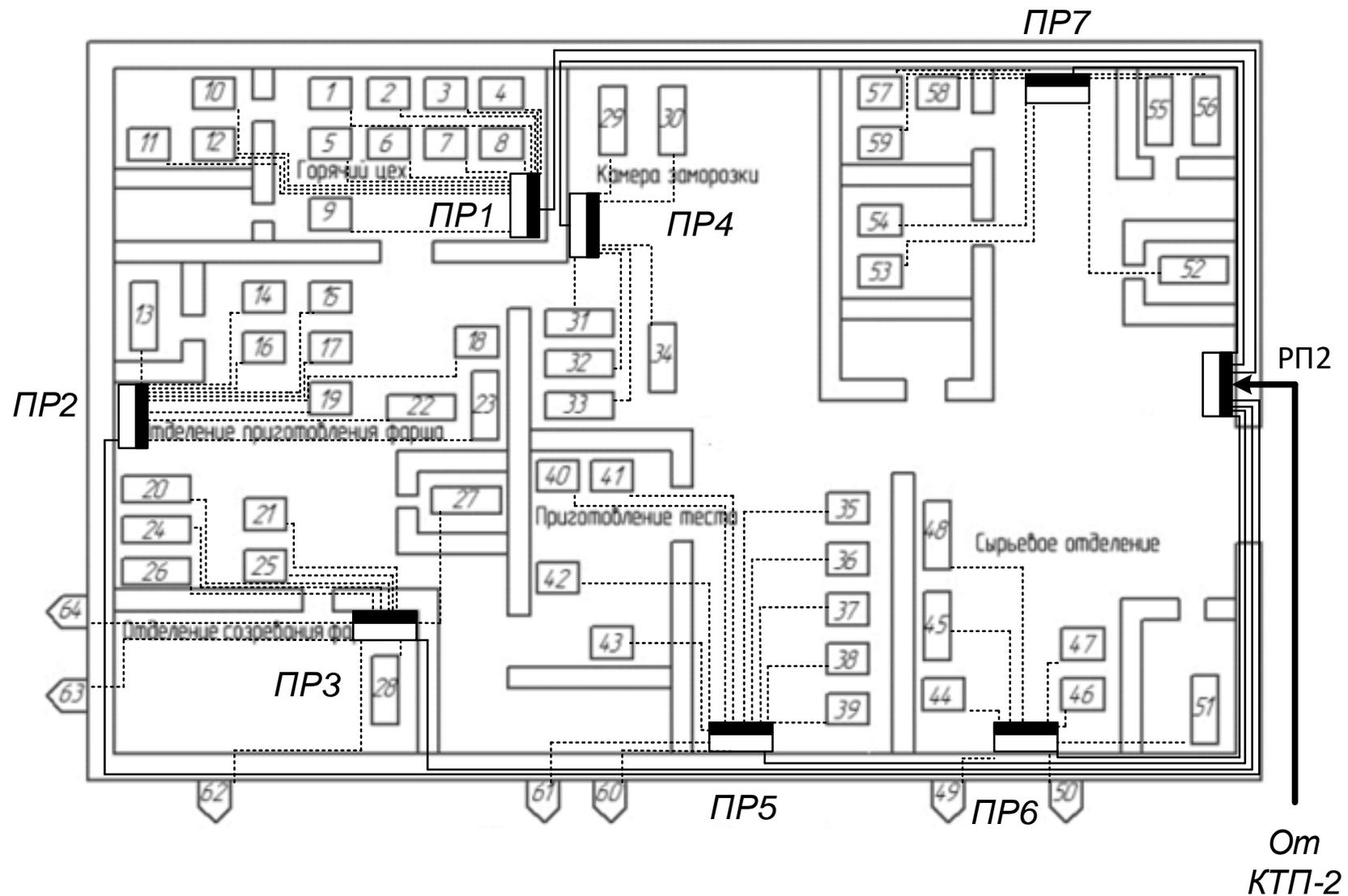


Рисунок 4.1 – План силовой и распределительной сети цеха

Принятая схема обеспечивает требуемую степень надежности питания приемников и требуемую по технологическим условиям гибкость и универсальность сети в отношении присоединения новых приемников.

В качестве распределительных пунктов принимаем пункты марки ПР11-7123. Данный пункт рассчитан на количество отходящих линий до двенадцати штук.

#### 4.2. Расчет электрических нагрузок производственного помещения

Перед определением расчетной нагрузки цеха необходимо определить номинальные параметры электроприемников. Примеры расчета номинальных и пусковых токов электроприемников

Котел КПЭ-60

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{3}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 5,05 \text{ А},$$

$$I_{\text{ПУСК}} = K_{\text{ПУСК}} \cdot I_{\text{НОМ}} = 5 \cdot 5,05 = 25,25 \text{ А},$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная активная мощность электроприёмника, кВт;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение электроприемника, кВ;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности;

$\eta$  – КПД электроприёмника;

$K_{\text{ПУСК}}$  – кратность пускового тока.

Определение номинальных параметров электроприемников сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение приемников по пунктам питания и определение их номинальных параметров

Наименование оборудования	п,	$P_{\text{ном}}$ ,	$k_{\text{исп}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	$\eta$	$K_{\text{пуск}}$	$I_{\text{ном}}$ , А	$I_{\text{пуск}}$ ,
	шт	кВт							А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПР1 ПР11-7123									
Котел КПЭ-60	2	3	0,75	0,95	0,33	0,95	1	5,05	5,05
Котел КЭП-250	2	1,4	0,75	0,95	0,33	0,95	1	2,36	2,36
Машина протирочно-резательная	1	3,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	8,40	42,02
Сковорода СЭСМ-02	2	3,2	0,6	0,95	0,33	0,95	1	5,39	5,39
Плита ЭП-6ЖШ	1	1,6	0,6	0,95	0,33	0,95	1	2,69	2,69
Холодильная машина	1	4,5	0,6	0,65	1,17	0,89	5	11,82	59,09
Вытяжная установка	1	6,5	0,75	0,85	0,62	0,89	7	13,05	91,38
Приточная установка	1	7,5	0,75	0,85	0,62	0,89	7	15,06	105,44
Приточная установка	1	3,2	0,75	0,85	0,62	0,89	7	6,43	44,99
ПР2 ПР11-7123									
Льдогенератор F90-H102	1	15	0,16	0,65	1,17	0,89	5	39,40	196,98
Установка "Климат-050"	1	26	0,16	0,65	1,17	0,89	5	68,29	341,43
Волчок АЕ-130	1	25	0,75	0,85	0,62	0,89	5	50,21	251,05
Ккутер Rex	1	2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	5,25	26,26
Фаршемешалка ФМВ 015	2	9,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	24,95	124,75

Таблица 4.1 (продолжение)

Машина упаковочная Olympus Vac	1	7,4	0,16	0,65	1,17	0,89	5	19,43	97,17
Подъемник- загрузчик ПМ- ФЗ-01	2	2,3	0,16	0,65	1,17	0,89	5	6,04	30,20
ПР3 ПР11-7123									
Подъемник- загрузчик ПМ- ФЗ-01	1	2,3	0,6	0,65	1,17	0,89	5	6,04	30,20
Волчок "RISKA"	1	12,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	32,83	164,15
Камера подморозки	1	14	0,6	0,65	1,17	0,89	5	36,77	183,84
Ккутер Kilia 4000	1	39	0,16	0,65	1,17	0,89	5	102,43	512,14
Установка "Климат-050"	1	26	0,75	0,85	0,62	0,89	7	52,22	365,53
Камера заморозки	1	3	0,6	0,65	1,17	0,89	5	7,88	39,40
Холодильная машина	1	48	0,6	0,65	1,17	0,89	5	126,06	630,32
Кондиционер	1	3	0,75	0,85	0,62	0,89	7	6,03	42,18
Кондиционер ALV-N753H	2	25	0,75	0,85	0,62	0,89	7	50,21	351,47
ПР4 ПР11-7123									
Камера заморозки	2	3	0,6	0,65	1,17	0,89	5	7,88	39,40
Установка "Климат-050"	2	26	0,75	0,85	0,62	0,89	7	52,22	365,53
Машина тестораскаточная Smart	1	19	0,16	0,65	1,17	0,89	5	49,90	249,50
Линия производства пельменей	1	31	0,16	0,65	1,17	0,89	5	81,42	407,08
ПР5 ПР11-7123									

Таблица 4.1 (продолжение)

Автомат пельменный JGL 120-5	5	1,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	4,20	21,01
Машина тестомесильная Г7-ТЗМ 63	2	4,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	11,82	59,09
Машина тестомесильная ОН 199Л	1	6,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	17,07	85,36
Машина тестомесильная Л4-ХТЮ	1	7,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	19,70	98,49
Кондиционер	2	7,5	0,75	0,85	0,62	0,89	7	15,06	105,44
ПР6 ПР11-7123									
Установка "Климат-050"	2	26	0,75	0,85	0,62	0,89	7	52,22	365,53
Автомат для резки порций Falcon	1	3,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	8,40	42,02
Приточная установка "Эльф 9"	1	15	0,6	0,65	1,17	0,89	5	39,40	196,98
Холодильная машина	1	26	0,6	0,65	1,17	0,89	5	68,29	341,43
Кондиционер ALV-N753H	2	25	0,75	0,85	0,62	0,89	7	50,21	351,47
Иньектор P40/500 SE	1	2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	5,25	26,26
ПР7 ПР11-7123									
Камера холодильная сборная	1	9,5	0,6	0,65	1,17	0,89	5	24,95	124,75
Стерилизатор ПМ-ФС1	1	7,4	0,16	0,65	1,17	0,89	1	19,43	19,43
Аппарат для мойки HD-658	1	2,3	0,16	0,65	1,17	0,89	5	6,04	30,20
Дефростер	2	12,5	0,75	0,85	0,62	0,89	5	25,10	125,52
Вытяжная вентсистема	3	14	0,75	0,85	0,62	0,89	5	28,12	140,59

Пример расчета для распределительного пункта ПР1.

Суммарная номинальная мощность электроприемников группы «А»

$$P_{\text{НОМ.}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i} = 3,2 \text{ кВт.}$$

Средняя активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену на примере станков

$$P_{\text{СМ}} = K_u \cdot P_{\text{НОМ.}\Sigma} = 0,16 \cdot 3,2 = 0,51 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{СМ}} = P_{\text{СМ}} \cdot \text{tg}\varphi = 0,51 \cdot 1,17 = 0,6 \text{ кВАр.}$$

Итог по среднесменной активной и реактивной нагрузке для группы "А"

$$P_{\text{СМ}}^{\text{"А"}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{СМ.}i} = 0,51 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{СМ}}^{\text{"А"}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{СМ.}i} = 0,6 \text{ кВАр.}$$

Диапазон величины модуля силовой сборки

$$m = \frac{P_{\text{НОМ.max}}}{P_{\text{НОМ.min}}} = \frac{3,2}{3,2} = 1 < 3.$$

Средневзвешенный коэффициент использования по группе

$$K_{u.\text{ср}} = \frac{P_{\text{СМ}}^{\text{"А"}}}{P_{\text{НОМ.}\Sigma}} = \frac{0,51}{3,2} = 0,16.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{СМ}}^{\text{"А"}}}{P_{\text{СМ}}^{\text{"А"}}} = \frac{0,6}{0,51} = 1,17.$$

С учетом того, что в группе "А" количество приемников не превышает трех штук, расчетные активная и реактивная мощности рассчитываются по суммарной номинальной мощности приемников группы

$$P_p^{\text{"А"}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i}^{\text{"А"}} = 3,2 \text{ кВт,} \quad Q_p^{\text{"А"}} = \sum_{i=1}^n (P_{\text{НОМ.}i}^{\text{"А"}} \cdot \text{tg}\varphi_i) = 0,66 \text{ кВАр.}$$

Расчетная активная, реактивная и полная мощности пункта

$$P_p = P_p^{\text{"А"}} + P_p^{\text{"Б"}} = 3,2 + 27 = 30,2 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_p^{''A''} + Q_p^{''B''} = 0,66 + 12,65 = 13,31 \text{ кВАр},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{30,2^2 + 13,31^2} = 33,08 \text{ кВА}.$$

Расчётный тока пункта

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{33,08}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 50,27 \text{ А}.$$

Определение пикового тока пункта

Номинальный и пусковой токи самого мощного электроприемника пункта

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = 15,06 \text{ А}, \quad I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = 105,44 \text{ А}.$$

Пиковый ток пункта

$$I_{\text{пик.л}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_p - K_{\text{u.max}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}) = 105,44 + (50,27 - 0,75 \cdot 15,06) = 144,4 \text{ А}.$$

Дальнейший расчет электрических нагрузок по пунктам питания сведем в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Определение расчетных нагрузок цеха по пунктам питания

Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП, n	Установленная мощность		$m = P_{\text{ном. max}} / P_{\text{ном. min}}$	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников $n_{\text{э}}$	Коэффициент максимума $K_{\text{м}}$	Расчетная нагрузка			$I_{\text{р}}$ , А	$I_{\text{пик}}$ , А
		$P_{\text{ном}}$ , кВт	$\Sigma P_{\text{ном}}$ , кВт					$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}}$ , кВт	$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi$ , кВА			$P_{\text{р}} = K_{\text{м}} \cdot P_{\text{см}}$ , кВт	$Q_{\text{р}} = (1 + 1,1) \cdot Q_{\text{см}}$ , кВАр	$S_{\text{р}} = \sqrt{(P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2)}$ , кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Пункт распределительный ПР-1																
Электроприемники группы "А" $K_{\text{и}} < 0,6$																
1 Машина протирачно-резательная	1	3,2 ÷ 3,2	3,2		0,16	0,65	1,17	0,51	0,6							
Итого по группе "А"	1	3,2 ÷ 3,2	3,2	<3	0,16	0,65	1,17	0,51	0,6			3,2	0,66	3,27		
Электроприемники группы "Б" $K_{\text{и}} \geq 0,6$																
2 Котлы	4	1,4 ÷ 3	8,8		0,75	0,95	0,33	6,6	2,18							
3 Машины разные	4	1,6 ÷ 3,2	12,5		0,6	0,95	0,33	7,5	2,48							
4 Вентиляция	3	3,2 ÷ 7,5	17,2		0,75	0,85	0,62	12,9	8,00							

Таблица 4.2 (продолжение)

Итого по группе "Б"	11	1,4 ÷ 7,5	38,5	>3	0,70	0,91	0,47	27	12,65			27,00	12,65	29,82		
Итого по ПР-1	12	1,4 ÷ 7,5	41,7		0,66	0,90	0,48	27,51	13,25			30,20	13,31	33,08	50,27	144,4
Пункт распределительный ПР-2																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Машины разные	8	2 ÷ 26	74		0,16	0,65	1,17	11,84	13,85							
Итого по группе "А"	8	2 ÷ 26	74	>3	0,16	0,65	1,17	11,84	13,85	6	1,86	22,02	15,24	26,78		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
2 Волчок	1	25 ÷ 25	25		0,75	0,85	0,62	18,75	11,63							
Итого по группе "Б"	1	25 ÷ 25	25		0,75	0,85	0,62	18,75	11,63			25	12,79	28,08		
Итого по ПР-2	9	6 ÷ 55	173,6		0,18	0,77	0,83	30,59	25,48			47,02	28,03	54,86	83,35	413,85
Пункт распределительный ПР-3																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1	2	12,5 ÷ 39	51,5		0,16	0,65	1,17	8,24	9,64							
Итого по группе "А"	2	12,5 ÷ 39	51,5	>3	0,16	0,65	1,17	8,24	9,64			51,5	10,60	52,58		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
2 Машины разные	4	2,3 ÷ 55	67,3		0,6	0,65	1,17	40,38	47,24							
3 Кондиционеры	4	3 ÷ 26	79		0,75	0,85	0,62	59,25	36,74							
Итого по группе "Б"	8	2,3 ÷ 55	146,3	>3	0,68	0,76	0,84	99,63	83,98			99,63	83,98	130,3		
Итого по ПР-3	10	2,3 ÷ 55	197,8		0,55	0,76	0,87	107,87	93,62			151,13	94,58	182,88	277,86	832,6
Пункт распределительный ПР-4																

Таблица 4.2 (продолжение)

Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																	
1	Машины разные	2	19 ÷ 31	50		0,16	0,65	1,17	8	9,36							
	Итого по группе "А"	2	19 ÷ 31	50	<3	0,16	0,65	1,17	8	9,36			50,00	10,30	51,05		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																	
2	Камера заморозки	2	3 ÷ 3	6		0,6	0,65	1,17	3,6	4,21							
3	Климат	2	26 ÷ 26	52		0,75	0,85	0,62	39	24,18							
	Итого по группе "Б"	4	3 ÷ 26	58	>3	0,73	0,83	0,67	42,6	28,39			42,6	28,39	51,19		
	Итого по ПР-4	6	3 ÷ 31	108		0,79	0,83	0,67	85,2	56,78			92,6	38,7	102,24	155,34	549,4
Пункт распределительный ПР-5																	
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																	
1	Машины разные	9	1,6 ÷ 7,5	31		0,16	0,65	1,17	4,96	5,80							
	Итого по группе "А"	9	1,6 ÷ 7,5	31	>3	0,16	0,65	1,17	4,96	5,80	7	2,4	11,90	6,38	13,51		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																	
2	Кондиционер	2	7,5 ÷ 7,5	15		0,75	0,85	0,62	11,25	6,98							
	Итого по группе "Б"	2	7,5 ÷ 7,5	15		0,75	0,85	0,62	11,25	6,98			15	7,67	16,85		
	Итого по ПР-5	11	6 ÷ 55	46		0,35	0,79	0,79	16,21	12,78			26,90	14,06	30,35	46,12	140,26
Пункт распределительный ПР6																	
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																	
1	Машины разные	2	2 ÷ 3,2	5,2		0,16	0,65	1,17	0,832	0,97							
	Итого по группе "А"	2	2 ÷ 3,2	5,2	<3	0,16	0,65	1,17	0,832	0,97			5,2	1,07	5,31		

Таблица 4.2 (продолжение)

Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																	
2	Кондиционеры	4	25 ÷ 26	102		0,75	0,85	0,62	76,5	47,43							
3	Холодильная машина, приточная установка	2	15 ÷ 26	41		0,6	0,65	1,17	24,6	28,78							
Итого по группе "Б"		6	15 ÷ 26	143	<3	0,71	0,80	0,75	101,1	76,212			143	83,83	165,76		
Итого по ПР-6		8	2 ÷ 26	148,2		0,69	0,80	0,76	101,93	77,19			148,2	84,90	170,80	259,50	585,86
Пункт распределительный ПР-7																	
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																	
1	Машины разные	2	2,3 ÷ 7,4	9,7		0,16	0,65	1,17	1,552	1,82							
Итого по группе "А"		2	2,3 ÷ 7,4	9,7	>3	0,16	0,65	1,17	1,55	1,82			9,7	2,00	9,90		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																	
2	Камера холодильная	1	9,5 ÷ 9,5	9,5		0,6	0,65	1,17	5,7	6,67							
3	Дефростер, вытяжка	5	12,5 ÷ 14	67		0,75	0,85	0,62	50,25	31,16							
Итого по группе "Б"		6	9,5 ÷ 14	76,5	<3	0,73	0,83	0,68	55,95	37,82			76,5	41,61	87,08		
Итого по ПР-7		10	6 ÷ 55	86,2		0,67	0,82	0,69	57,50	39,64			86,20	43,60	96,99	147,35	266,85

### 4.3. Выбор защитных аппаратов и проводников

В качестве аппаратов защиты принимаем автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем для защиты линии от токов КЗ и тепловым для защиты от перегрузки.

Выбор сечений питающей линий производится по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева. Линии, питающие распределительные пункты, проверяются по допустимой потере напряжения. Сечения кабелей согласовываются с действием аппаратов защиты.

Условия выбора выключателей [4, стр. 182]:

1. По нагреву расчетным током нагрузки:  $I_{\text{ном.ав}} \geq I_{\text{ном.расц}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{дл}}$ ;

2. По условию перегрузки пусковым током:

$$I_{\text{кз}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} - \text{для одного ЭП};$$

$$I_{\text{кз}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}} - \text{для группы ЭП};$$

$$I_{\text{кз}} \geq K \cdot I_{\text{ном.расц}} - \text{для группы ЭП } (K = I_{\text{кз}}/I_{\text{ном.расц}}),$$

где  $I_{\text{дл}} = I_{\text{ном}}$  – для одного ЭП;

$$I_{\text{дл}} = I_{\text{р}} - \text{для группы ЭП};$$

$I_{\text{ном.ав}}$  – номинальный ток автомата;

$I_{\text{ном.расц}}$  – номинальный ток расцепителя;

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

$K$  – кратность отсечки;

$I_{\text{пик}}$  – пиковый ток;

$I_{\text{мах.пуск}}$  – пусковой ток двигателя (или трансформатора) наибольшей мощности в данной группе ЭП;

$I_{\text{мах.ном}}$  – номинальный ток двигателя (или трансформатора) наибольшей мощности в данной группе ЭП;

$I_{\text{кз}}$  – номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ.

Условие выбора проводников [4, стр. 184]:

1. По нагреву расчетным током нагрузки:  $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}} / K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}$ ;

2. Согласование с аппаратом защиты:  $I_{\text{доп}} \geq K_{\text{з}} \cdot I_{\text{з}} / K_{\text{п1}}$ ;

3. По допустимой потере напряжения:  $\Delta U_{\text{р}\%} = \Delta U_0 \cdot I_{\text{р}} \cdot l$ ,

где  $K_{\text{п1}}$   $K_{\text{п2}}$  – поправочные коэффициенты на условие прокладки;

$K_3$  – кратность защиты (отношение длительно допустимого тока для кабеля к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата при перегрузке или КЗ);

$I_3$  – номинальный ток или ток уставки срабатывания защитного аппарата;

$\Delta U_0$  – потеря напряжения в трехфазных сетях 380 В;

$I_p$  – расчетный ток линии;

$l$  – длина рассматриваемой линии.

Для дальнейшего расчета необходимо определиться с типом системы заземления нейтралей и открытых проводящих частей оборудования.

Ни один из существующих способов заземления нейтралей и открытых проводящих частей не является универсальным. В качестве общих рекомендаций предлагается [27, стр. 16]:

- сети TN-C и TN-C-S характеризуются низким уровнем электро- и пожаробезопасности, а так же возможностью значительных электромагнитных излучений;
- сети TN-S рекомендуются для статичных (не подверженных изменениям) установок, когда сеть проектируется раз и на всегда;
- сети TT следует использовать для временных, расширяемых и изменяемых электроустановок;
- сети IT следует использовать в тех случаях, когда бесперебойность электроснабжения является крайне необходимой.

Так как в рассматриваемом цехе не предполагается перемещение электроприемников и внесение серьёзных изменений в систему электроснабжения, то в связи с вышеприведенными рекомендациями применим систему заземления типа TN-S.

Данная система надежная и безопасная, максимально осуществляет защиту электрооборудования и человека от поражения электрическим током. Так же данная система не требует контроля за состоянием контура заземления.

Недостатком системы является удорожание схемы электроснабжения, за счет применения пятипроводных кабельных линий.

Примеры выбора аппаратуры и кабелей.

а) Выбор отходящего автоматического выключателя подстанции

Расчетный ток нагрузки КТП2

$$I_{р.ПС} = \frac{S_{р.ПС}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{1059}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1609 \text{ А.}$$

Номинальный ток трансформатора подстанции

$$I_{НОМ.тр} = \frac{S_{НОМ.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 957,2 \text{ А.}$$

Максимальный рабочий ток трансформатора подстанции

$$I_{\max.раб} = 1,4 \cdot I_{НОМ.тр} = 1,4 \cdot 957,2 = 1340 \text{ А.}$$

Пиковый ток подстанции

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.ПС}} &= I_{\text{пуск}}^{\max} + (I_{\max.раб} - K_{u.\max} \cdot I_{НОМ}^{\max}) = \\ &= 630 + (1340 - 0,6 \cdot 126,06) = 1895 \text{ А.} \end{aligned}$$

Намечаем к установке автомат марки EasyPact MVS с параметрами  $I_{НОМ.ав} = 1600 \text{ А}$ ,  $I_{\text{тепл}} = 1600 \text{ А}$  [10, стр. 87-88].

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 1600 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\max.раб} = 1,1 \cdot 1340 = 1474 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 1,25 \cdot 1895 = 2368 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{2368}{1600} = 1,48,$$

принимаем  $K = 2$ .

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 2 \cdot 1600 = 3200 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 2368 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

б) Выбор секционного автоматического выключателя подстанции

Максимальный рабочий ток трансформатора

$$I_{\max.раб} = 1340 \text{ А.}$$

Расчетный ток секционного выключателя

$$I_{р.СВ} = 0,7 \cdot I_{\max.раб} = 0,7 \cdot 1340 = 938 \text{ А.}$$

Пиковый ток сборных шин

$$I_{\text{пик.СШ}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{р.СН}} - K_{\text{u.max}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}) = \\ = 630,32 + (938 - 0,6 \cdot 126,06) = 1493 \text{ А.}$$

Намечаем к установке автомат марки EasyPact MVS с параметрами  $I_{\text{НОМ.ав}} = 1250 \text{ А}$ ,  $I_{\text{тепл}} = 1250 \text{ А}$ .

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 1250 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{р.СВ}} = 1,1 \cdot 938 = 1032 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1,25 \cdot 1493 = 1867 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1867}{1250} = 1,49,$$

принимаем  $K = 2$ .

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 2 \cdot 1250 = 2500 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1867 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

в) Участок ТП – РП2

Расчетный и пиковый ток нагрузки РП2

$$I_{\text{р}} = 797,4 \text{ А}, \quad I_{\text{пик}} = 1352 \text{ А.}$$

Намечаем к установке автомат марки EasyPact MVS с параметрами  $I_{\text{НОМ.ав}} = 1000 \text{ А}$ ,  $I_{\text{тепл}} = 1000 \text{ А}$ .

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 1000 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{р}} = 1,1 \cdot 797,4 = 877 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 1352 = 1690 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1690}{1000} = 1,69,$$

принимаем  $K = 2$ .

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{э.о} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 2 \cdot 1000 = 2000 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1690 \text{ A}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки АВББШв – 4х(5×240) с  $I_{\text{доп}} = 1348 \text{ A}$  [9, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 1348 \text{ A} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{797,4}{1,0 \cdot 1,0} = 797,4 \text{ A}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 1348 \text{ A} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1,25 \cdot 1000}{1,0} = 1250 \text{ A},$$

где  $I_3$  – ток уставки срабатывания защитного аппарата, А;

$K_{\text{п1}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий фактическую температуру окружающей среды [1, стр. 185, табл. 9.1];

$K_{\text{п2}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий количество совместных проложенных линий [1, стр. 185, табл. 9.2; стр. 186, табл. 9.3];

$k_3$  – кратность защиты (отношение длительно допустимого тока для кабеля к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата при перегрузке или КЗ) [1, стр. 187, табл. 9.4].

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,068 \cdot 797,4 \cdot 0,152 = 3,46\% < 5\%,$$

где  $l$  – длина рассматриваемой линии с учетом непрямолинейной прокладки кабеля (обрезка, обход конструкций и оборудования...), км;

5% – допустимое значение потерь напряжения;

$\Delta U_0$  – потеря напряжения в трехфазных сетях 380 В [10, стр. 91, табл. П.2.11], %/(А·км).

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

Так как расчет по выбору аппаратов защиты и кабельных линий для всех распределительных пунктов и электроприемников аналогичен, то остальные расчеты сведем в таблицу 4.3 (для распределительных пунктов) и таблицу 4.4 (для отдельных электроприемников).

Таблица 4.3 – Выбор аппаратов защиты и проводников питающей сети

Участок	$\frac{I_p}{I_{пик}}$ , А	$1,1 \cdot I_p$ , А	$1,25 \cdot I_{пик}$ , А	Автомат			Способ проклад	$K_{п1}$	$K_{п2}$	$\frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2}}$ , А	$K_3$	$\frac{K_3 \cdot I_3}{K_{п1}}$ , А	Кабель		L, м	cosφ	ΔU <sub>0</sub> , %	ΔU <sub>p</sub> , %			
				Тип	К	$\frac{I_{тепл}}{I_{э.о.}}$ , А							Марка	I <sub>доп</sub> , А							
Отходящий выключатель ТП	<u>1340</u>	1474	2368	EasyPact MVS	2	<u>1600</u>	В коробе, на логгах	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	1895					<u>3200</u>															
Секционный выключатель ТП	<u>938</u>	1032	1867	EasyPact MVS	2	<u>1250</u>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1493					<u>2500</u>															
ТП - РП2	<u>797,4</u>	877	1690	EasyPact MVS	2	<u>1000</u>		1	1	783,66	1,25	1250	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1352					<u>2000</u>															
РП2 - ПР1	<u>57,79</u>	63,57	189,88	EasyPact CVS100	3	<u>100</u>		1	1	57,79	1,25	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	151,9					<u>300</u>															
РП2 - ПР2	<u>83,35</u>	91,69	517,31	EasyPact CVS100	6	<u>100</u>		1	1	83,35	1,25	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	413,85					<u>600</u>															
РП2 – ПР3	<u>321,6</u>	353,76	1095,38	EasyPact CVS400	3,5	<u>400</u>		1	1	321,6	1,25	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	876,3					<u>1400</u>															
РП2 – ПР4	<u>174,16</u>	191,58	710,25	EasyPact CVS250	4	<u>250</u>	1	1	174,16	1,25	312,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	568,2					<u>1000</u>															
РП2 – ПР5	<u>46,12</u>	50,73	175,33	EasyPact CVS100	3	<u>100</u>	1	1	46,12	1,25	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	140,26					<u>300</u>															
РП2 – ПР6	<u>259,5</u>	285,45	732,33	EasyPact CVS400	2,5	<u>400</u>	1	1	259,5	1,25	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	585,86					<u>1000</u>															
РП2 – ПР7	<u>147,35</u>	162,09	708,56	EasyPact CVS250	3,5	<u>250</u>	1	1	147,35	1,25	312,5	ABBГнг-LS (5×185)	327	0,024	0,82	0,0835	0,30				

Таблица 4.4 – Выбор аппаратов защиты и проводников электроприёмников

Приемник	I <sub>ном</sub> ,	I <sub>пуск</sub> ,	1,1·I <sub>ном</sub> ,	1,5·I <sub>пуск</sub> ,	Автомат				K <sub>п1</sub>	K <sub>п2</sub>	$\frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2}}$	K <sub>з</sub>	$\frac{K_з \cdot I_з}{K_{п1}}$	Кабель	
	A	A	A	A	Тип	К	I <sub>тепл</sub> ,	I <sub>э.о</sub> ,						Марка	I <sub>доп</sub> ,
							A	A							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Пункт распределительный ПР1															
Котел КПЭ-60	5,05	25,25	5,56	37,88	Compact NSXm	3	16	48	1	0,9	5,61	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Котел КЭП-250	2,36	11,78	2,59	17,68	Compact NSXm	2	16	32	1	0,9	2,62	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Машина протиочно-резательная	8,40	42,02	9,24	63,03	Compact NSXm	5	16	80	1	0,87	9,66	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Сковорода СЭСМ-02	5,39	26,94	5,93	40,40	Compact NSXm	3	16	48	1	0,87	6,19	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Плита ЭП-6ЖШ	2,69	13,47	2,96	20,20	Compact NSXm	2	16	32	1	1	2,69	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Холодильная машина	11,82	59,09	13,00	88,64	Compact NSXm	6	16	96	1	1	11,82	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Вытяжная установка	13,05	91,38	14,36	137,07	Compact NSXm	10	16	160	1	0,9	14,50	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Приточная установка	15,06	105,44	16,57	158,16	Compact NSXm	7	25	175	1	0,9	16,74	1,25	31,25	АВВГнг-LS –(5x6)	34
Приточная установка	6,43	44,99	7,07	67,48	Compact NSXm	5	16	880	1	0,9	7,14	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Пункт распределительный ПР2															
Льдогенератор F90-N102	39,40	196,98	43,33	295,46	Compact NSXm	3	50	48	1	1	39,40	1,25	62,5	АВВГнг-LS –(5x25)	80
Установка "Климат-050"	68,29	341,43	75,11	512,14	Compact NSXm	7	80	560	1	0,85	80,34	1,25	100	АВВГнг-LS –(5x50)	132
Волчок АЕ-130	50,21	251,05	55,23	376,57	Compact NSXm	7	63	441	1	0,85	59,07	1,25	78,75	АВВГнг-LS –(5x25)	80
Ккутер Rex	5,25	26,26	5,78	39,40	Compact NSXm	3	16	48	1	0,85	6,18	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Фаршемешалка ФМВ 015	24,95	124,75	27,45	187,13	Compact NSXm	7	32	224	1	0,85	29,35	1,25	40	АВВГнг-LS –(5x10)	54
Машина упаковочная Olympus Vac	19,43	97,17	21,38	145,76	Compact NSXm	7	25	175	1	0,85	22,86	1,25	31,25	АВВГнг-LS –(5x6)	34
Подъемник-загрузчик ПМ-ФЗ-01	6,04	30,20	6,64	45,30	Compact NSXm	4	16	64	1	0,85	7,11	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Пункт распределительный ПР3															
Подъемник-загрузчик ПМ-ФЗ-01	6,04	30,20	6,64	45,30	Compact NSXm	4	16	64	1	0,86	7,02	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Волчок "RISKA"	32,83	164,15	36,11	246,22	Compact NSXm	7	40	280	1	0,86	38,17	1,25	50	АВВГнг-LS –(5x10)	54
Камера подморозки	36,77	183,84	40,45	275,77	Compact NSXm	6	50	300	1	0,86	42,75	1,25	62,5	АВВГнг-LS –(5x25)	80

Таблица 4.4 (продолжение)

Кутер Kilia 4000	102,43	512,14	112,67	768,21	Compact NSXm	7	125	875	1	0,86	119,10	1,25	156,25	ABBГнг-LS –(5x70)	165
Установка "Климат-050"	52,22	365,53	57,44	548,29	Compact NSXm	9	63	567	1	0,86	60,72	1,25	78,75	ABBГнг-LS –(5x25)	80
Камера заморозки	7,88	39,40	8,67	59,09	Compact NSXm	4	16	64	1	1	7,88	1,25	20	ABBГнг-LS –(5x4)	26
Холодильная машина	126,06	630,32	138,67	945,49	Compact NSXm	6	160	960	1	1	126,06	1,25	200	ABBГнг-LS –(5x120)	226
Кондиционер	6,03	42,18	6,63	63,26	Compact NSXm	5	16	80	1	1	6,03	1,25	20	ABBГнг-LS –(5x4)	26
Кондиционер ALV-N753H	50,21	351,47	55,23	527,20	Compact NSXm	9	63	567	1	0,93	53,99	1,25	78,75	ABBГнг-LS –(5x25)	80
Пункт распределительный ПР4															
Камера заморозки	7,88	39,40	8,67	59,09	Compact NSXm	4	16	64	1	1	7,88	1,25	20	ABBГнг-LS –(5x4)	26
Установка "Климат-050"	52,22	365,53	57,44	548,29	Compact NSXm	9	63	567	1	1	52,22	1,25	78,75	ABBГнг-LS –(5x25)	80
Машина тестораскаточная Smart	49,90	249,50	54,89	374,25	Compact NSXm	6	63	378	1	0,9	55,45	1,25	78,75	ABBГнг-LS –(5x25)	80
Линия производства пельменей	81,42	407,08	89,56	610,63	Compact NSXm	7	100	700	1	0,9	90,46	1,25	125	ABBГнг-LS –(5x50)	132
Пункт распределительный ПР5															
Автомат пельменный JGL 120-5	4,20	21,01	4,62	31,52	Compact NSXm	3	16	48	1	0,85	4,94	1,25	20	ABBГнг-LS –(5x4)	26
Машина тестомесильная Г7-ТЗМ 63	11,82	59,09	13,00	88,64	Compact NSXm	6	16	96	1	0,85	13,90	1,25	20	ABBГнг-LS –(5x4)	26
Машина тестомесильная ОН 199Л	17,07	85,36	18,78	128,03	Compact NSXm	6	25	150	1	0,85	20,08	1,25	31,25	ABBГнг-LS –(5x6)	34
Машина тестомесильная Л4-ХТЮ	19,70	98,49	21,67	147,73	Compact NSXm	6	25	150	1	0,85	23,17	1,25	31,25	ABBГнг-LS –(5x6)	34
Кондиционер	15,06	105,44	16,57	158,16	Compact NSXm	7	25	175	1	0,93	16,20	1,25	31,25	ABBГнг-LS –(5x6)	34
Пункт распределительный ПР6															
Установка "Климат-050"	52,22	365,53	57,44	548,29	Compact NSXm	9	63	567	1	1	52,22	1,25	78,75	ABBГнг-LS –(5x25)	80

Таблица 4.4 (продолжение)

Автомат для резки порций Falcon	8,40	42,02	9,24	63,03	Compact NSXm	4	16	64	1	0,9	9,34	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Приточная установка "Эльф 9"	39,40	196,98	43,33	295,46	Compact NSXm	6	50	300	1	0,9	43,77	1,25	62,5	АВВГнг-LS –(5x25)	80
Холодильная машина	68,29	341,43	75,11	512,14	Compact NSXm	7	80	560	1	0,9	75,87	1,25	100	АВВГнг-LS –(5x50)	132
Кондиционер ALV-N753H	50,21	351,47	55,23	527,20	Compact NSXm	9	63	567	1	0,9	55,79	1,25	78,75	АВВГнг-LS –(5x25)	80
Инъектор Р40/500 SE	5,25	26,26	5,78	39,40	Compact NSXm	3	16	48	1	0,9	5,84	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Пункт распределительный ПР7															
Камера холодильная сборная	24,95	124,75	27,45	187,13	Compact NSXm	6	32	192	1	0,93	26,83	1,25	40	АВВГнг-LS –(5x10)	54
Стерилизатор ПМ-ФС1	19,43	97,17	21,38	145,76	Compact NSXm	5	32	160	1	0,93	20,90	1,25	40	АВВГнг-LS –(5x10)	54
Аппарат для мойки HD-658	6,04	30,20	6,64	45,30	Compact NSXm	3	16	48	1	0,93	6,50	1,25	20	АВВГнг-LS –(5x4)	26
Дефростер	25,10	125,52	27,62	188,29	Compact NSXm	6	32	192	1	0,93	26,99	1,25	40	АВВГнг-LS –(5x10)	54
Вытяжная вентсистема	28,12	140,59	30,93	210,88	Compact NSXm	7	32	224	1	0,93	30,23	1,25	40	АВВГнг-LS –(5x10)	54

#### 4.4. Оценка установившегося отклонения напряжений

В соответствии с этим ГОСТ для силовых сетей промышленных предприятий отклонение напряжений не должен превышать  $\pm 5\%$  от номинального значения. На шинах 6-10 кВ подстанции, к которой присоединены распределительные сети, напряжение должно поддерживаться не ниже 105% номинального в период наибольших нагрузок и не выше 100% номинального в период наименьших нагрузок этих сетей.

Рассмотрим цепочку ГПП – ТП2 – РП2 – РП3 – ЭП №28.

Расчетные данные приемника №28

$$P_{\text{НОМ}} = 48,0 \text{ кВт}, \quad Q_{\text{НОМ}} = 60,7 \text{ кВАр}, \quad S_{\text{НОМ}} = 77,4 \text{ кВА}.$$

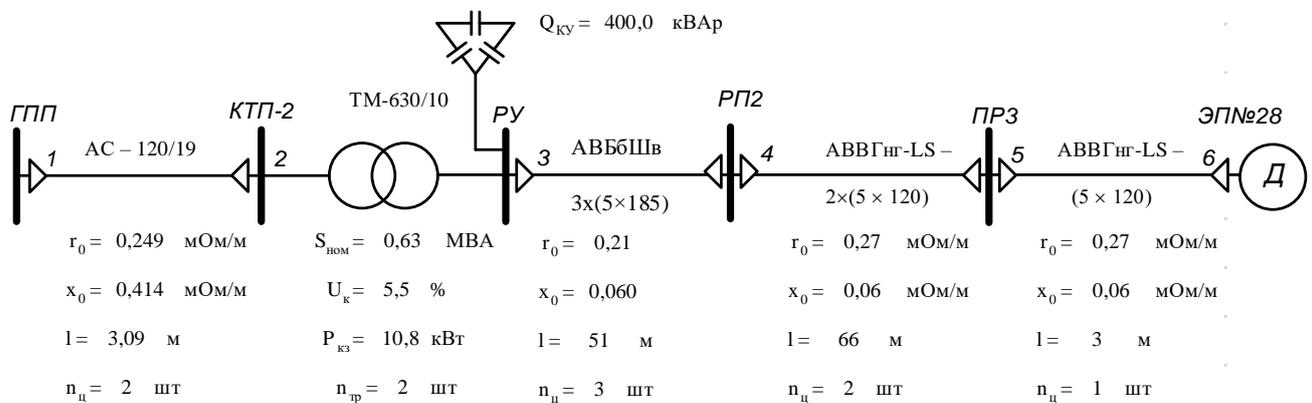


Рисунок 4.2 – Расчетная схема

Расчет максимального режима нагрузки

Участок 1-2

Активное и реактивное сопротивление участка 1-2

$$R_{12} = \frac{r_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,249 \cdot 105}{2} \cdot 10^{-3} = 0,013 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = \frac{x_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,414 \cdot 105}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0217 \text{ Ом}.$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 1-2

$$P_{12} = \sum P_{\text{ц.ТП}} = 836,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{12} = \sum Q_{\text{ц.ТП}} - Q_{\text{КУ}} = 642,6 - 400 = 242,6 \text{ кВАр}.$$

Потеря напряжения на участке 1-2

$$\Delta U_{12,\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{836,1 \cdot 0,013 + 242,6 \cdot 0,0217}{10 \cdot 10,5^2} = 0,014\%.$$

Потеря напряжения на участке 1-2 в именованных единицах

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12,\%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,014 \cdot \frac{10500}{100} = 1,5 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 1-2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 1,5 = 10498,5 \text{ В.}$$

Участок 2-3

Активная и реактивная составляющая значения напряжения короткого замыкания трансформатора

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{ном.тр}} = \frac{5,5 \cdot 100\%}{630} = 0,873,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 + U_a^2} = \sqrt{5,5^2 + 0,873^2} = 5,57.$$

Коэффициент загрузки трансформатора

$$\beta_T = \frac{S_{12}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{865,8}{2 \cdot 630} = 0,687.$$

Коэффициент мощности на участке 2-3

$$\cos \varphi = \frac{P_{23}}{S_{23}} = \frac{836,1}{865,8} = 0,96, \quad \sin \varphi = \frac{Q_{23}}{S_{23}} = \frac{242,6}{865,8} = 0,28.$$

Потеря напряжения на участке 2-3

$$\begin{aligned} \Delta U_{23,\%} &= \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi) = \\ &= 0,687 \cdot (0,873 \cdot 0,96 + 5,57 \cdot 0,28) + \frac{0,687^2}{200} \cdot (0,873 \cdot 0,28 - 5,57 \cdot 0,96) = \\ &= 1,635\%. \end{aligned}$$

Потеря напряжения на участке 2-3 в именованных единицах

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 1,635 \cdot \frac{10498,5}{100} = 171,6 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 2-3

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 10498,5 - 171,6 = 10326,9 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 2-3 с учетом коэффициента трансформации

$$U_3^{\text{HH}} = U_3 = 400 \cdot \frac{10326,9}{10500} = 393,4 \text{ В.}$$

Участок 3-4

Активное и реактивное сопротивление участка 3-4

$$R_{34} = \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,21 \cdot 51}{3} \cdot 10^{-3} = 0,0037 \text{ Ом,}$$

$$X_{34} = \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 51}{3} \cdot 10^{-3} = 0,0008 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 3-4

$$P_{34} = P_{\text{РП2}} = 461,1 \text{ кВт,} \quad Q_{34} = Q_{\text{РП2}} = 249,9 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 3-4

$$\Delta U_{34,\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{461,1 \cdot 0,0037 + 249,9 \cdot 0,0008}{10 \cdot 0,3934^2} = 1,8\%.$$

Потеря напряжения на участке 3-4 в именованных единицах

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34,\%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 1,8 \cdot \frac{393,4}{100} = 7 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 3-4

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 393,4 - 7 = 386,4 \text{ В.}$$

Участок 4-5

Активное и реактивное сопротивление участка 4-5

$$R_{45} = \frac{r_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,27 \cdot 66}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0089 \text{ Ом,}$$

$$X_{45} = \frac{x_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,06 \cdot 66}{2} \cdot 10^{-3} = 0,002 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 4-5

$$P_{45} = 181 \text{ кВт,} \quad Q_{45} = 103 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 4-5

$$\Delta U_{45,\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{181 \cdot 0,0089 + 103 \cdot 0,002}{10 \cdot 0,3864^2} = 1,22 \%.$$



Потеря напряжения на участке 4-5 в именованных единицах

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45,\%} \cdot \frac{U_4}{100\%} \Delta U_{45} = 1,22 \cdot \frac{386,4}{100} = 4,7 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 4-5

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 386,4 - 4,7 = 381,7 \text{ В.}$$

Участок 5-6

Активное и реактивное сопротивление участка 4-5

$$R_{56} = \frac{r_{56} \cdot l_{56}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,27 \cdot 3}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0008 \text{ Ом,}$$

$$X_{56} = \frac{x_{56} \cdot l_{56}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,06 \cdot 3}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0001 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 5-6

$$P_{56} = P_{\text{НОМ}} = 48 \text{ кВт,} \quad Q_{56} = Q_{\text{НОМ}} = 60,7 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 4-5

$$\Delta U_{56,\%} = \frac{P_{56} \cdot R_{56} + Q_{56} \cdot X_{56}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{48 \cdot 0,0008 + 60,7 \cdot 0,0001}{10 \cdot 0,3817^2} = 0,27 \text{ \%}.$$

Потеря напряжения на участке 5-6 в именованных единицах

$$\Delta U_{56} = \Delta U_{56,\%} \cdot \frac{U_5}{100\%} \Delta U_{56} = 0,27 \cdot \frac{381,7}{100} = 1 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 5-6

$$U_6 = U_5 - \Delta U_{56} = 381,7 - 1 = 380,7 \text{ В.}$$

В качестве послеаварийного режима рассмотрим выход из строя одного трансформатора в цеховой подстанции, в связи с чем отключается одна из цепей, питающая данную подстанцию.

Для определения потоков мощностей для минимального режима воспользуемся характерным суточным графиком активной и реактивной нагрузок пищевой промышленности:

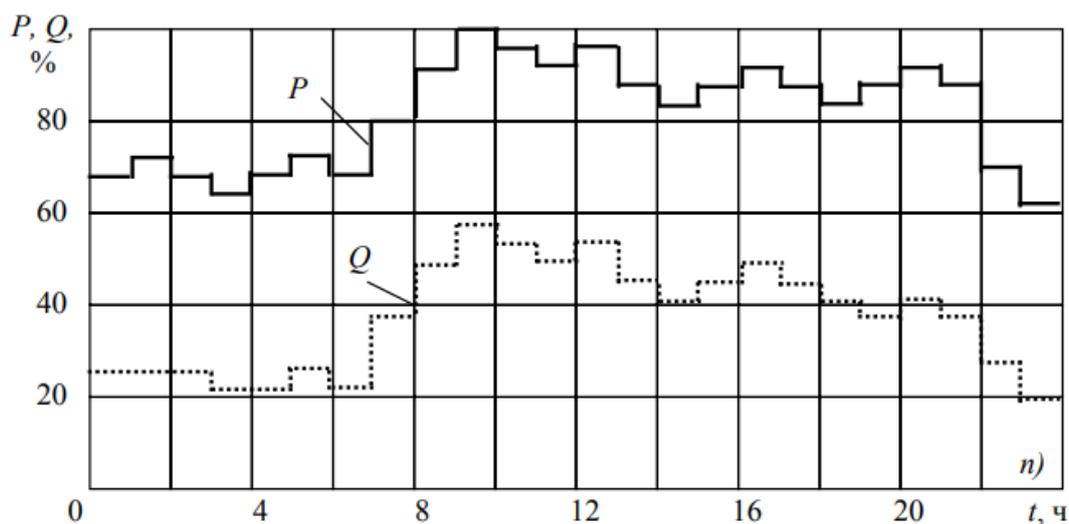


Рисунок 4.3 – Суточный график активной и реактивной нагрузок пищевой промышленности

Дальнейший расчет сведем в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Расчётные данные для построения эпюр отклонения напряжений

Максимальный режим нагрузки					
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
$P_i$ , кВт	836,1	836,1	461,1	181	48
$Q_i$ , кВАр	242,6	242,6	249,9	103	60,7
$S_i$ , кВА	870,6	870,6	524,5	208,2	77,4
$R_i$ , Ом	0,013	—	0,0037	0,0089	0,0008
$X_i$ , Ом	0,0217	—	0,0008	0,002	0,0001
$\cos\varphi$	—	0,96	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,28	—	—	—
$\beta_T$	—	0,687	—	—	—
$U_a$ , %	—	0,873	—	—	—
$U_p$ , %	—	5,57	—	—	—
$\Delta U_i$ , %	0,014	1,635	1,8	1,22	0,03
$\Delta U_i$ , В	1,5	171,6	7	4,7	0,1
$U_i$ , В	10498,5	393,4	386,4	381,7	381,6

Таблица 4.5 (продолжение)

Минимальный режим нагрузки					
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
$P_i$ , кВт	668,9	668,9	368,9	144,8	48
$Q_i$ , кВАр	97,0	97,0	100,0	41,2	60,7
$S_i$ , кВА	675,9	675,9	382,2	150,5	77,4
$R_i$ , Ом	0,013	—	0,0037	0,0089	0,0008
$X_i$ , Ом	0,0217	—	0,0008	0,002	0,0001
$\cos\varphi$	—	0,96	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,28	—	—	—
$\beta_T$	—	0,553	—	—	—
$U_a$ , %	—	0,873	—	—	—
$U_p$ , %	—	5,57	—	—	—
$\Delta U_i$ , %	0,013	1,32	1,27	0,85	0,03
$\Delta U_i$ , В	1,4	138,6	5	3,3	0,1
$U_i$ , В	10498,6	394,7	389,7	384,4	381,6
Послеаварийный режим нагрузки					
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
$P_i$ , кВт	1672,2	1672,2	461,1	181	48
$Q_i$ , кВАр	485,2	485,2	249,9	103	60,7
$S_i$ , кВА	1741	1741	524,5	208,2	77,4
$R_i$ , Ом	0,013	—	0,0037	0,0089	0,0008
$X_i$ , Ом	0,0217	—	0,0008	0,002	0,0001
$\cos\varphi$	—	0,96	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,28	—	—	—
$\beta_T$	—	1,38	—	—	—
$U_a$ , %	—	0,873	—	—	—
$U_p$ , %	—	5,57	—	—	—
$\Delta U_i$ , %	0,029	3,26	1,86	1,26	0,03
$\Delta U_i$ , В	3	342,2	7,2	4,8	0,1
$U_i$ , В	10497	386,8	379,6	374,8	374,7

По результатам расчетов строим эпюры отклонения напряжений.

Эпюры представлена на рисунке 4.4.

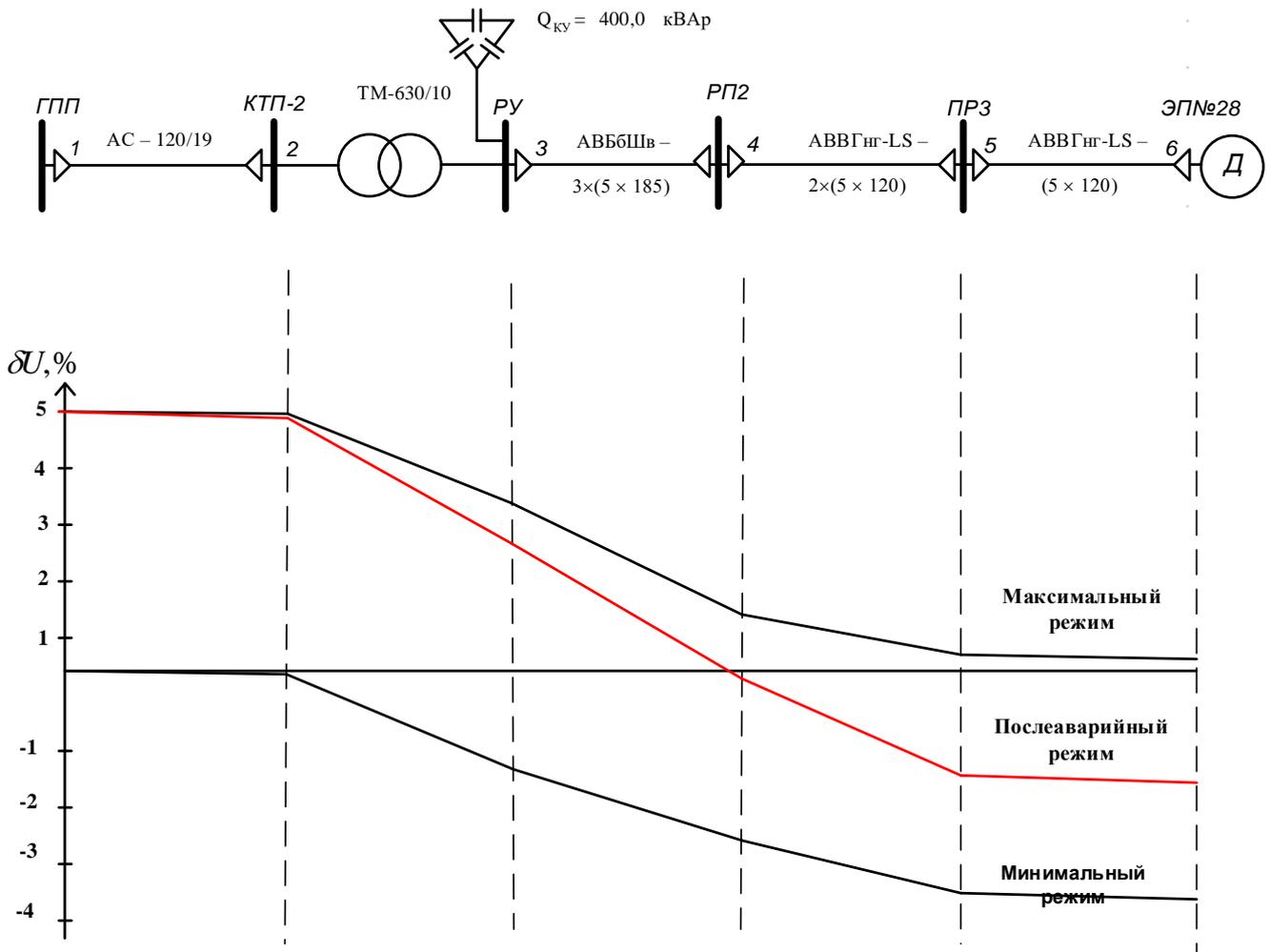


Рисунок 4.4 – Эпюры отклонения напряжений

Из эпюр отклонения напряжений видно, что потеря напряжения в линиях соответствует норме и принятые сечения пригодны для эксплуатации.

#### 4.5. Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчет в сравнении с расчетом токов КЗ в сетях напряжением выше 1000 В обладает следующими особенностями:

- напряжение на шинах ТП считается неизменным при КЗ в сети до 1000 В;
- расчет ведем в именованных единицах;
- напряжение принимаем на 5% выше номинального напряжения сети;
- при расчете токов КЗ учитываем активные и индуктивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети.

Для расчетов токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения, рисунок 4.5 и на её основе схему замещения, рисунок 4.6.

## Расчет токов КЗ ведем для участка КТП2 – РП2 – ПР3 – ЭП №28.

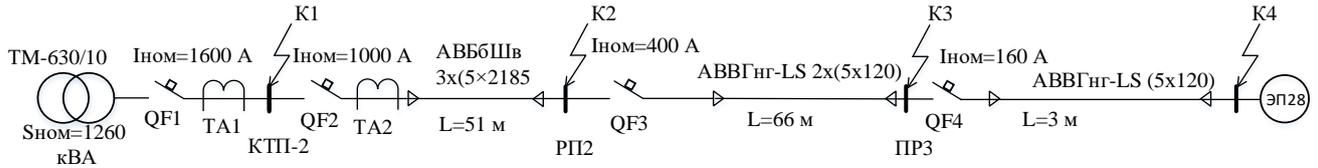


Рисунок 4.5 – Расчетная схема

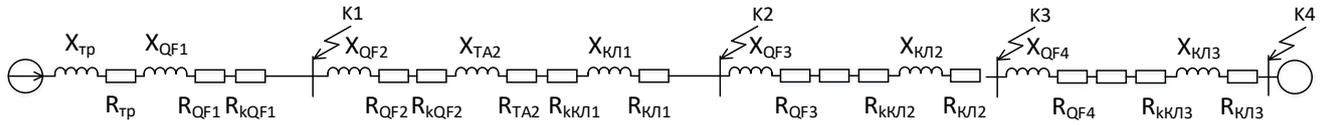


Рисунок 4.6 – Схема замещения

Сопротивления элементов.

Трансформаторы

$$R_{\text{тр}} = \frac{U_a}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{0,873}{100} \cdot \frac{400^2}{630} = 2,2 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{5,57}{100} \cdot \frac{400^2}{630} = 14,1 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{тр}} = \sqrt{R_{\text{тр}}^2 + X_{\text{тр}}^2} = \sqrt{2,2^2 + 14,1^2} = 14,3 \text{ мОм}.$$

Сопротивление автоматических выключателей QF1-QF4.

$$R_{QF1} = 0,06 \text{ мОм}, X_{QF1} = 0,07 \text{ мОм}, R_{kQF1} = 0,07 \text{ мОм}.$$

$$R_{QF2} = 0,15 \text{ мОм}, X_{QF2} = 0,17 \text{ мОм}, R_{kQF2} = 0,40 \text{ мОм}.$$

$$R_{QF3} = 0,20 \text{ мОм}, X_{QF3} = 0,20 \text{ мОм}, R_{kQF3} = 0,50 \text{ мОм}.$$

$$R_{QF4} = 0,40 \text{ мОм}, X_{QF4} = 0,50 \text{ мОм}, R_{kQF4} = 0,60 \text{ мОм}.$$

Сопротивления первичной обмотки трансформаторов тока с коэффициентом трансформации  $>1000/5$  не учитывается, поэтому, сопротивление трансформатора тока ТТ1 не учитываем [1, стр. 157, табл. 7.2]

$$Z_{\text{ТТ2}} = \sqrt{R_{\text{ТТ2}}^2 + X_{\text{ТТ2}}^2} = \sqrt{0,3^2 + 0,2^2} = 0,36 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

$$R_{\text{КЛ1}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,21 \cdot 51}{3} = 3,6 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ1}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,06 \cdot 51}{3} = 1,02 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ1}} = \sqrt{R_{\text{КЛ1}}^2 + X_{\text{КЛ1}}^2} = \sqrt{3,6^2 + 1,02^2} = 3,7 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

$$R_{\text{КЛ2}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,27 \cdot 66}{2} = 8,9 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ2}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,06 \cdot 6}{2} = 2 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ2}} = \sqrt{R_{\text{КЛ2}}^2 + X_{\text{КЛ2}}^2} = \sqrt{8,9^2 + 2^2} = 9,1 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ3

$$R_{\text{КЛ3}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,27 \cdot 3}{1} = 0,8 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ3}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,06 \cdot 3}{1} = 0,1 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ3}} = \sqrt{R_{\text{КЛ3}}^2 + X_{\text{КЛ3}}^2} = \sqrt{0,8^2 + 0,1^2} = 0,81 \text{ мОм}.$$

Расчет тока короткого замыкания для точки К1.

Полное сопротивление до точки К1

$$Z_{\text{К1}} = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{Q1}} = 14,3 + 0,13 = 14,43 \text{ мОм}.$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{\text{К1}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 14,43} = 7,8 \text{ кА}.$$

Постоянная времени

$$T_{\text{a1}} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{14,2}{314 \cdot 17,4} = 0,0026 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{\text{a1}}} = 1 + e^{-0,01/0,0026} = 1,021.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К1

$$i_{уд,К1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{К1} = \sqrt{2} \cdot 1,021 \cdot 7,8 = 11,3 \text{ кА.}$$

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	$Z_{\Sigma}$ , МОм	$k_{уд}$	$T_a$ , с	$I_k$ , кА	$i_{уд}$ , кА
К1	14,43	1,597	0,0194	16	36
К2	31,6	1,254	0,0073	7,3	13
К3	88,2	1,055	0,0035	2,6	3,9
К4	140,2	1,045	0,0032	1,6	4,4

#### 4.6. Построение карты селективности действия аппаратов защиты

Карта селективности действия аппаратов защиты строится в логарифмической системе координат и служит для проверки правильности выбора аппаратов защиты. На карту селективности наносятся:

- номинальный и пусковой токи электроприёмника;
- расчётный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- расчётный и пиковый ток вводного распределительного устройства (при его наличии);
- расчётный и пиковый ток подстанции;
- характеристики защитных аппаратов;
- значения токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ.

Данные нагрузки и аппаратов защиты для построения карты селективности сведены в таблицы 4.7, 4.8.

Таблица 4.7 – Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	ЭП №28	ПР-3	РП-2	КТП-2	Значения тока КЗ в соотв. точках, кА			
					1	2	3	4
Расчётный ток, А	-	321,6	797,4	1340	16	7,3	2,6	1,6
Пиковый ток, А	-	876,3	1352	1895				

Номинальный ток, А	126,06	-	-	-				
Пусковой ток, А	630,32	-	-	-				

Таблица 4.8 - Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
EasyPact MVS	1600	3200
EasyPact MVS	1000	2000
Easypact CVS400	400	1400
Compact NSXm	160	960

Карта селективности представлена в приложении Е.

Обозначения на карте селективности:

- 1 - номинальный ток ЭП;
- 2 - пусковой ток ЭП;
- 3 – расчётный ток распределительного пункта ПР-3;
- 4 – пиковый ток распределительного пункта ПР-3;
- 5 – расчётный ток РП-2;
- 6 – пиковый ток РП-2;
- 7 – расчётный ток КТП-2;
- 8 – пиковый ток КТП-2;
- 9 – защитная характеристика автоматического выключателя Compact NSXm;
- 10 – защитная характеристика автоматического выключателя Easypact CVS400;
- 11 – защитная характеристика автоматического выключателя EasyPact MVS;
- 12 – защитная характеристика автоматического выключателя EasyPact MVS;
- 13 – ток КЗ в точке К4;

14 – ток КЗ в точке К3;

15 – ток КЗ в точке К2;

16 – ток КЗ в точке К1;

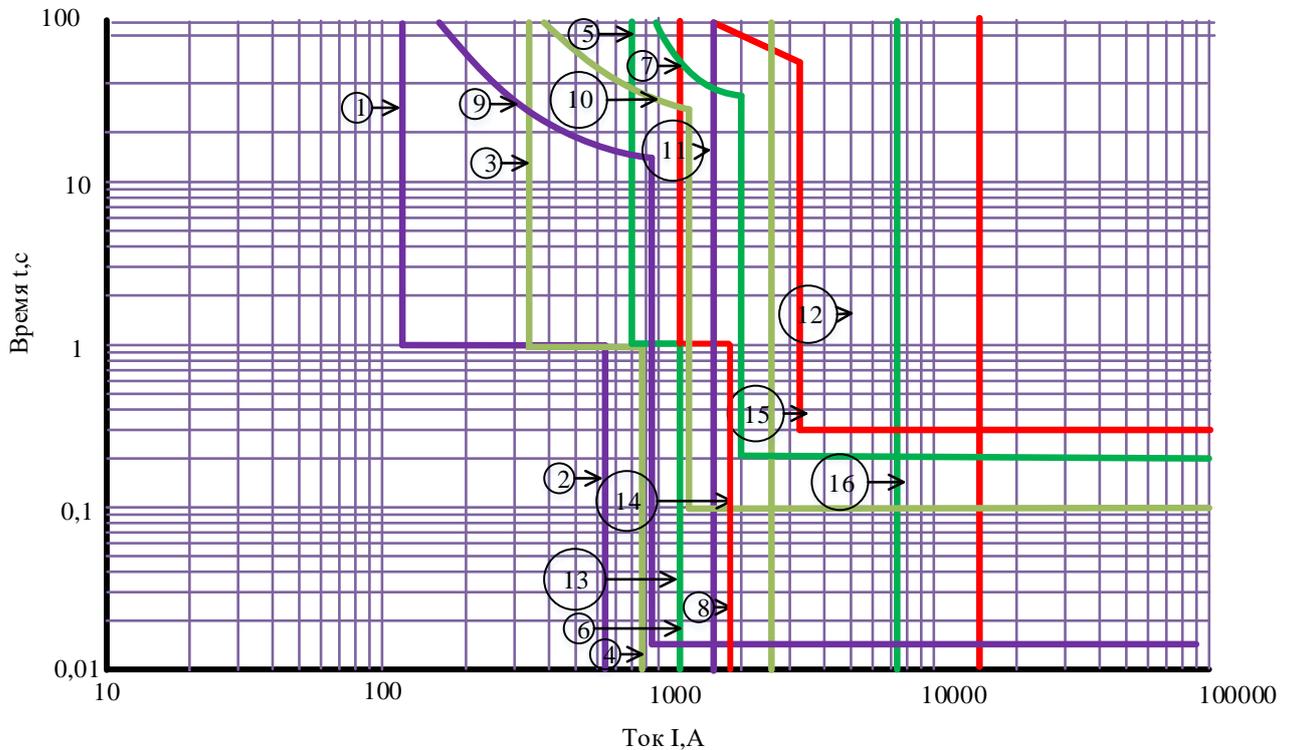


Рисунок 4.7 – Карта селективности действия аппаратов защиты

#### 4.7. Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ

Обеспечение отключения аппаратами защиты токов трехфазного КЗ не является гарантией отключения однофазного КЗ, по той причине, что токи однофазного короткого замыкания могут быть в несколько раз меньше токов трехфазного КЗ. В сети напряжения 0,4 кВ необходимо быстрое отключение повреждения. Это достигается высокой проводимостью петли фаза ноль.

Расчет токов КЗ ведем для участка КТП2 – РП2 – ПР3 – ЭП №28.

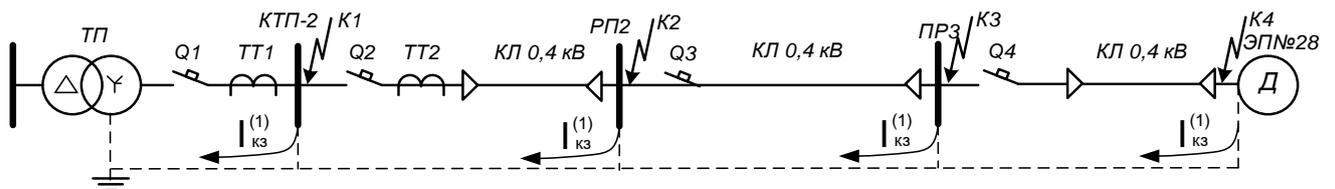


Рисунок 4.8 – Расчетная схема

Сопротивления элементов.

Сопrotивление трансформатора тока однофазного замыкания на корпус  
[1, стр. 159, табл. 7.4]

$$\frac{Z_{\text{тр}}}{3} = 14 \text{ мОм.}$$

Автоматические выключатели

$$R_{QF1} = 0,06 \text{ мОм}, X_{QF1} = 0,07 \text{ мОм}, R_{kQF1} = 0,07 \text{ мОм.}$$

$$R_{QF2} = 0,15 \text{ мОм}, X_{QF2} = 0,17 \text{ мОм}, R_{kQF2} = 0,40 \text{ мОм.}$$

$$R_{QF3} = 0,20 \text{ мОм}, X_{QF3} = 0,20 \text{ мОм}, R_{kQF3} = 0,50 \text{ мОм.}$$

$$R_{QF4} = 0,40 \text{ мОм}, X_{QF4} = 0,50 \text{ мОм}, R_{kQF4} = 0,60 \text{ мОм.}$$

Трансформатор тока ТТ2

$$R_{\text{ТТ2}} = 0,75 \text{ мОм,}$$

$$R_{\text{ТТ2}} = 1,20 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛ1

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,21 \cdot 51}{3} = 3,57 \text{ мОм,}$$

активное сопротивление нулевого проводника [26, стр. 143, табл. 6.22]

$$R_{\text{н1}} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,620 \cdot 51}{3} = 10,5 \text{ мОм,}$$

внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль [1, стр. 159]

$$X'_1 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 51}{3} = 10,2 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛ2

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 2} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,27 \cdot 66}{2} = 8,9 \text{ мОм,}$$

активное сопротивление нулевого проводника [26, стр. 143, табл. 6.22]

$$R_{\text{н2}} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{2,120 \cdot 66}{2} = 70 \text{ мОм,}$$

внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль [1, стр. 159]

$$X_2' = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 66}{2} = 19,8 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛЗ

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\text{фз}} = \frac{r_{\text{ф}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,27 \cdot 3}{1} = 0,81 \text{ мОм,}$$

активное сопротивление нулевого проводника [26, стр. 143, табл. 6.22]

$$R_{\text{нз}} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{2,120 \cdot 3}{1} = 3,36 \text{ мОм,}$$

внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-ноль [1, стр. 159]

$$X_3' = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 3}{1} = 1,8 \text{ мОм.}$$

Сопротивление дуги в точке КЗ [1, стр. 159]

$$R_{\text{д}} = 0,03 \text{ мОм.}$$

Сопротивление питающей системы [1, стр. 159]

$$X_{\text{с}} = 3,2 \text{ мОм.}$$

Внутреннее индуктивное сопротивление проводов зануления  $X''$  учитывается только для проводов, выполненных из стали [1, стр. 159].

Для расчета тока однофазного КЗ рекомендуется упрощенная формула

$$I_{\text{К}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ф}}}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_{\text{н}}},$$

где  $U_{\text{ф}}$  – фазное напряжение сети, В.

Расчет тока короткого замыкания для точки К1.

Сопротивление петли фаза ноль до точки К1

$$\begin{aligned} Z_{\text{н1}} &= \sqrt{(R_{\text{д}} + R_{\text{Q1}})^2 + (X_{\text{с}} + X_{\text{Q1}})^2} = \\ &= \sqrt{(0,03 + 0,13)^2 + (3,2 + 0,07)^2} = 3,27 \text{ мОм.} \end{aligned}$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{\text{К1}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ф}}}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_{\text{н1}}} = \frac{220}{14 + 3,27} = 12,73 \text{ кА.}$$

Проверка условия

$$I_{K1}^{(1)} = 12,73 \text{ кА} > 3 \cdot I_{\text{ном.расц}} = 3 \cdot 1600 = 4,8 \text{ кА},$$

следовательно, в случае однофазного КЗ в точке К1 автомат, защищающий отходящую линию на ТП, должен безотказно сработать.

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	$Z_{\Sigma}$ , МОм	$I_k$ , кА	$3 \cdot I_{\text{ном.расц}}$ , кА
К1	3,3	10,0	4,8
К2	30,3	4,96	3000
К3	110,5	1,76	1,2
К4	115,9	1,69	0,48

Таким образом, расчет показал, что выбранные автоматические выключатели чувствительны к однофазному короткому замыканию.

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

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является экономическое планирование и оценка ресурсоэффективности разработки системы энергоснабжения Великолукского мясокомбината. [10].

Для выполнения проекта необходимо решить следующие задачи [10]:

- 1) Проведение сегментирования рынка электроэнергетики;
- 2) Оценка коммерческого потенциала и перспективности НИР с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения:
  - анализ конкурентных технических решения в данной области
  - составление SWOT-анализа для поиска сильных сторон технического решения, слабых, оценены возможности и угрозы;
  - определение ресурсной эффективности исследования с помощью расчета интегрального показателя ресурсоэффективности.
- 3) Планирование графика проведения НИР.

- составление перечня этапов и работ, которые необходимо провести и назначены исполнители.

- определение трудоемкости выполнения работ

- составление диаграмма Ганта.

4) Формирование бюджета научно-технического исследования.

- подсчет всех затраты в рамках проекта, в том числе и затрат на все электрооборудование, его доставку, монтаж с учетом выбранных моделей для проектируемой сети электроснабжения завода по производству источников света.

## **5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

### **5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, сегментировать рынок электроэнергетики можно по следующим критериям: производственная мощность предприятия, тип производства по графику электрических нагрузок, категория надёжности электроснабжения потребителей, энергоёмкость (доля энергозатрат в себестоимости продукции).

Согласно типу производства по графику электрических нагрузок предприятия подразделяются на:

- односменные (1500-2500 ч – число часов использования максимума нагрузки);
- двухсменные (3500-4500 ч);
- трехсменные (5000-7000 ч).

Мясокомбинаты можно отнести к односменным предприятиям.

Кроме того, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) в отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяют на следующие три категории:

Электроприемники 1 категории — электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни

людей, значительный ущерб народному хозяйству; повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Электроприемники 2 категории — электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники 3 категории — все остальные электроприемники, не подходящие под определения 1 и 2 категорий.

Для построения карты сегментирования рынка выберем два наиболее значимых критерия: мощность предприятия и категория потребителя по надежности электроснабжения.

По мощности предприятия делятся на: малые (до 5 МВА); средние (5÷75 МВА); большие (свыше 75 МВА). По требуемой степени надежности потребителей разделяют на 1, 2, 3 категорию.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования услуг электроэнергетики в сфере электроснабжения

	1 категория	2 категория	3 категория
Большие	Р	С	М
Средние	Р, С	Р, М, С	М, С
Малые	Р, С	Р, М, С	Р, М, С

В данной таблице: Р = радиальная, М = магистральная, С = смешанная схемы электроснабжения.

В силу того, что радиальная схема обеспечивает наибольшую надёжность, по сравнению с магистральной, её применение возможно для электроснабжения потребителей 1 категории. Для предприятий средних и малых смешанная схема так же обеспечивает достаточную надёжность электроснабжения, наравне с радиальной.

Для крупных и средних потребителей 2 и 3 категорий высокая надёжность электроснабжения не требуется, поэтому возможно применение магистральной схемы.

Технологические особенности полуфабрикатного цеха диктуют необходимость применения именно радиальной схемы, т.к. электроприемники не связаны единым технологическим процессом, а значит необходимо обеспечить бесперебойное питание станков, независимо от работы других.

### **5.1.2. Анализ конкурентных технических решений**

Детальный анализ различных конфигураций схем электроснабжения необходимо проводить систематически, поскольку НТП находится в постоянной динамике. Такой анализ помогает вносить коррективы в существующие схемы, чтобы преумножать преимущества выбранной схемы над другими, менее выгодными. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны альтернативных схем.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о других возможных конфигурациях сети:

- технические характеристики разработки;
- эффективность;
- бюджет разработки;
- тенденции изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, приведенной в табл. 8. Радиальная схема обозначена к1, магистральная – к2, смешанная – к3. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 8, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция выбранной схемы электроснабжения цеха и альтернативных вариантов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 (100%).

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$cK = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $K$  - конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  - вес показателя (в долях ед.);

$B_i$  - балл  $i$ -показателя.

Оценочная карта сравнения конкурентных решений приведена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оценочная карта сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бк1	Бк2	Бк3	Кк1	Кк2	Кк3
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Надёжность	0,25	5	1	3	1,25	0,25	0,75
2. Энергоэкономичность (минимум потерь)	0,1	1	5	1	0,1	0,5	0,1
3. Величина токов КЗ (минимальная)	0,05	5	1	2	0,25	0,05	0,1
4. Безопасность	0,2	3	4	3	0,6	0,8	0,6
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,20	4	1	4	0,8	0,2	0,8
2. Затраты на монтаж схемы (минимальные)	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
3. Простота обслуживания	0,05	3	4	2	0,15	0,2	0,1
4. Долговечность оборудования	0,05	3	4	3	0,15	0,2	0,15
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>3,6</b>	<b>2,7</b>	<b>3</b>

Согласно оценочной карте наиболее целесообразной и конкурентоспособной в данной ситуации является радиальная схема. Дальнейший анализ и расчёт будет применён только к данной схеме.

### 5.1.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT- анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. С помощью SWOT-анализа будут определены:

- Сильные стороны радиальной схемы, которые характеризуют конкурентоспособную сторону проекта;
- Слабые стороны – это недостаток и уязвимость технического решения, которые препятствуют его конкурентоспособности по сравнению с другими схемами электроснабжения;
- Возможности, включающие в себя благоприятную возможную ситуацию в настоящем или будущем;
- Угрозы проекта, представляющие любую нежелательную тенденцию, которая может угрожать конкурентоспособности в настоящем или будущем.

SWOT- анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде (таблица 5.3).

Таблица 5.3. Предварительной матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b>                  С1: Низкая цена элементов схемы                  С2: Высокая надёжность электроснабжения потребителей                  С3: Высокая эргономичность                  С4: Низкая материалоемкость                  С5: Высокая ремонтпригодность</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b>                  Сл1: Доступность токоведущих частей                  Сл2: Низкая безопасность                  Сл3: Низкая энергоэффективность</p>
<p><b>Возможности проекта</b>                  В1: Прокладка кабелей в эстакадах                  В2: Снижение цен на используемое оборудование                  В3: Повышение стоимости конкурентных разработок                  В4: Растущая заинтересованность инвесторов</p>		
<p><b>Угрозы проекта</b>                  У1: Значительное увеличение стоимости схемы (прокладка кабелей в эстакадах)                  У2: Повышение цен на компоненты системы                  У3: Усовершенствования конкурентных технических решений                  У4: Снижение спроса</p>		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Результаты второго этапа SWOT анализа представлены в таблицах 5.4 - 5.7.

Таблица 5.4– Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	0	+	–	+
	B2	+	0	0	0	0
	B3	+	0	0	0	0
	B4	+	0	0	0	0

Из анализа интерактивной матрицы SWOT можно заметить корреляцию сильных сторон и возможностей B1C1C3C5, B2C1, B3C1 и B4C1.

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей проекта.

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	+	0
	B2	–	–	–
	B3	–	–	–
	B4	0	+	+

Из анализа интерактивной матрицы SWOT можно заметить корреляцию слабых сторон и возможностей B1Сл1Сл2 и B4Сл2Сл3.

Таблица 5.6. Интерактивная матрица сильных сторон и угроз проекта.

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	–	–	0	–
	У2	+	–	–	0	–
	У3	–	–	–	–	–
	У4	–	–	–	–	–

Из анализа интерактивной матрицы SWOT можно заметить корреляцию сильных сторон и угроз У1У2С1.

Таблица 5.7. Интерактивная матрица слабых сторон и угроз проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	–	–	–
	У2	–	–	–
	У3	–	+	+
	У4	+	+	+

Из анализа интерактивной матрицы SWOT можно заметить корреляцию слабых сторон и угроз У3Сл2Сл3 и У4Сл1Сл2Сл3.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 5.8), которая учитывает сочетание возможностей с сочетанием сильных сторон.

Таблица 5.8 – Результаты SWOT анализа

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1: Низкая цена элементов схемы С2: Высокая надёжность электроснабжения потребителей С3: Высокая эргономичность С4: Низкая материалоемкость С5: Высокая ремонтпригодность	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1: Доступность токоведущих частей Сл2: Низкая безопасность Сл3: Низкая энергоэффективность
<b>Возможности проекта</b> В1: Прокладка кабелей в эстакадах В2: Снижение цен на используемое оборудование В3: Повышение стоимости конкурентных разработок В4: Растущая заинтересованность инвесторов	В1С1С3С5, В2С1, В3С1, В4С1	В1Сл1Сл2, В4Сл2Сл3
<b>Угрозы проекта</b> У1: Значительное увеличение стоимости схемы (прокладка кабелей в эстакадах) У2: Повышение цен на компоненты системы У3: Усовершенствования конкурентных технических решений У4: Снижение спроса	У1У2С1	У3Сл2Сл3, У4Сл1Сл2Сл3

После проведения трех этапов SWOT-анализа и на основании его результатов можно сказать:

– Риск снижения спроса – одна из основных угроз проекта, которая коррелирует со всеми его слабыми сторонами;

- Слабые стороны ликвидируемы за счет усовершенствования конструкции схемы;

- Для минимизации угроз необходимо обратить внимание на недостатки данной конфигурации сети электроснабжения, а именно доступность токоведущих частей, низкая энергоэффективность и ремонтпригодность;

- Кроме того, необходимо акцентировать внимание на сильные стороны схемы, такие как экономичность, надёжность и эргономика;

- Прокладка кабелей в эстакадах – одно из наиболее весомых технических решений, относящихся к возможностям проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;

- За счёт модификации схемы, а именно использования такого способа прокладки кабелей, как прокладка в эстакадах, можно скомпенсировать такие слабости, как доступность токоведущих частей и низкая безопасность;

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что прокладка в эстакадах позволит получить наибольшую отдачу от данного проекта. Благодаря прогрессирующим разработкам в области электроэнергетики и электротехники, совершенствованию конструкций аппаратуры и энергоэффективности материалов негативные факторы могут быть минимизированы.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что в данном НИП отсутствуют слабые стороны, способные привести к значительным внешним угрозам.

Из анализа видно, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабых, следовательно, радиальная схема имеет большие шансы конкурировать с остальными схемами. Радиальная схема питания, по сравнению с магистральной, применяется чаще, так как обеспечивает более высокую надежность электроснабжения, гарантирует удобство эксплуатации и имеет большой срок эксплуатации. При коротких замыканиях прекращают работу один или несколько ЭП, подключенных к поврежденной линии,

остальные продолжают работать, что по сравнению с магистральной схемой является огромным плюсом.

## 5.2. Планирование проекта

### 5.2.1. Структура работ в рамках проектирования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Таблица 5.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка ТЗ	1	Составление технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор материалов по теме	Инженер
	3	Изучение релевантной информации	Инженер
	4	Систематизирование информации	Инженер
	5	Создание календарного плана работ	Руководитель
Теоретические исследования	6	Анализ возможных конфигураций сети электроснабжения цеха	Инженер
	7	Разработка вариантов схем электроснабжения на основе существующих конфигураций	Инженер
	8	Выбор электрооборудования и его расположения на предприятии	Инженер
	9	Предварительный расчёт нагрузок	Инженер
	10	Выбор токоведущих линий и аппаратов защиты	Инженер
	11	Сравнение вариантов схем	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	13	Оформление отчёта по НИР	Инженер

В результате определения структуры работ в рамках научного исследования было выявлено четыре основных этапа (разработка технического задания, выбор направления исследований, теоретические исследования, обобщение и оценка результатов) и 13 видов работ. Первый

этап, включающий в себя разработку технического задания, осуществляется руководителем проекта, остальные 12 работ выполняются инженером.

### 5.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ.

Важным этапом является определение трудоемкости работ исполнителя и инженера, т.к. трудовые затраты в основном составляют большую часть стоимости разработки.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используется формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -й работы, чел. - дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения  $i$ -й работы, чел. - дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения  $i$ -й работы, чел. - дн.

Из ожидаемой трудоемкости работ необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях, которая учитывает выполнения работы несколькими участниками:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -й работы, чел. - дн.;

$Ч_i$  – число исполнителей, выполняющих одну работы одновременно, чел.;

### 5.2.3. Разработка графика проведения проекта

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Продолжительность работы в календарных днях:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где  $T_{ки}$  – продолжительность работы, календ. дн.;

$T_{pi}$  – продолжительность работы, раб. дн.;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где  $T_{\text{кал}}$  – кол-во календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – кол-во выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – кол-во праздничных дней в году;

Пример расчёта для 2 этапа работы (изучение и подбор необходимых материалов, составление примерного плана работ).

Ожидаемое значение трудоемкости:

$$t_{\text{ожс}_1} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 5}{5} = 4,4 \approx 4 \text{ чел.-дн};$$

Продолжительность 2 работы в рабочих днях:

$$T_p = \frac{t_{\text{ожс}_1}}{Ч} = \frac{4}{1} = 4 \text{ дня};$$

Коэффициент календарности:

Для инженера по пятидневной рабочей неделе:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,477;$$

Для руководителя по шестидневной рабочей неделе:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,2207;$$

Продолжительность работы в календарных днях:

Для инженера

$$T_{\kappa} = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 4 \cdot 1,477 = 5,91 \approx 6 \text{ дней.}$$

Таблица 5.10 – Временные показатели проекта

№ п/п	Название работы	Должность	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
			$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни		
1	Составление технического задания	Руководитель	5	8	6	6	8
2	Подбор материалов по теме	Инженер	3	4	3	3	5
3	Изучение релевантной информации	Инженер	2	3	2	2	4
4	Систематизирование информации	Инженер	1	2	1	1	2
5	Создание календарного плана работ	Руководитель	1	2	1	1	1
6	Анализ возможных конфигураций сети электроснабжения цеха	Инженер	1	1	1	1	1
7	Разработка вариантов схем электроснабжения на основе существующих конфигураций	Инженер	2	3	2	2	4
8	Выбор электрооборудования и его расположения на предприятии	Инженер	2	5	3	3	5
9	Предварительный расчёт нагрузок	Инженер	4	9	6	6	9
10	Выбор токоведущих линий и аппаратов защиты	Инженер	1	2	1	1	2
11	Сравнение вариантов схем	Инженер	1	2	1	1	2
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1	2	1	1	2
13	Оформление отчёта по НИР	Инженер	6	10	8	8	10
<b>ИТОГО</b>							<b>55</b>

№	Вид работ	Исполнитель	Т <sub>кi</sub> , кал. дней	Продолжительность выполнения работ, 2015 год											
				Февраль		Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление технического задания	Руководитель	8	■											
2	Подбор материалов по теме	Инженер	5		■										
3	Изучение релевантной информации	Инженер	4			■									
4	Систематизирование информации	Инженер	2				■								
5	Создание календарного плана работ	Руководитель	1	■											
6	Анализ возможных конфигураций сети электроснабжения цеха	Инженер	1					■							
7	Разработка вариантов схем электроснабжения на основе существующих конфигураций	Инженер	4				■								
8	Выбор электрооборудования и его расположения на предприятии	Инженер	5					■							
9	Предварительный расчёт нагрузок	Инженер	9						■						
10	Выбор токоведущих линий и аппаратов защиты	Инженер	2							■					
11	Сравнение вариантов схем	Инженер	2								■				
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2									■			
13	Оформление отчёта по НИР	Инженер	10										■		
<b>ИТОГО</b>			<b>55</b>												

Рисунок 5.1 – График Ганта

На основе данных графика можно сделать вывод, что продолжительность работ по проектированию системы электроснабжения займет 55 дней. Начало разработки проекта придется на вторую декаду февраля и закончится первой декаде апреля.

Значение реальной продолжительности работ может быть, как меньше (при благоприятных обстоятельствах) посчитанного значения, так и больше (при неблагоприятных обстоятельствах), так как трудоемкость носит вероятностный характер.

### **5.3. Формирование бюджета проекта**

При формировании бюджета проекта необходимо полностью и достоверное отразить все виды расходов, которые связаны с его выполнением. Используются следующие статьи затрат:

- Материальные;
- На специальное оборудование для научных работ;
- Основная заработная плата исполнителей;
- Дополнительная заработная плата;
- Отчисления во внебюджетные фонды;
- Накладные расходы.

#### **5.3.1. Расчет материальных затрат**

К материальным затратам относят всю стоимость материалов, необходимых во время выполнения проекта: покупные материалы, канцелярские принадлежности.

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи} \cdot ,$$

где  $m$  – кол-во видов материальных ресурсов;

$N_{расхи}$  – кол-во материальных ресурсов;

$C_i$  – цена приобретения единицы ресурса;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров

поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Так как все материалы приобретались у конечных распространителей (магазин канцелярский принадлежностей), транспортные расходы были уже учтены в их конечной стоимости

Материальные затраты приведены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед.,руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Листы бумаги	пачка	1	200	200
Папка-скоросшиватель	штук	1	20	20
Простые карандаши	штук	2	10	10
Шариковые ручки	штук	2	30	60
Ластик	штук	1	10	10
<b>Итого:</b>				<b>300</b>

В сумме материальные затраты составили 300 рублей.

### 5.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данном пункте анализ необходимо провести для оборудования, необходимого для выполнения научно-технического исследования. В нашем случае таким оборудованием является персональный компьютер, стоимость которого составила 55 тыс.руб.

В затраты на амортизацию включаем оборудование, стоимость которого превышает 40 тыс.руб, таким образом на используемый нами персональный компьютер линейным способом считаются затраты на амортизацию.

$$H_A = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,33\%;$$

$$A = \text{Стоимость} \cdot \frac{H_A \cdot T_{\text{раб.дн}}}{100 \cdot 365} = \frac{55000 \cdot 33,33 \cdot 79}{100 \cdot 365} = 3967,64 \text{ руб.}$$

где  $H_A$ , % – годовая норма амортизации по компьютеру;

$n$  – срок полезного использования компьютера в бухгалтерском учете;

$T_{\text{раб.дн}}$  – количество дней использования компьютера.

### 5.3.3. Основная заработная плата исполнителей

В данную статью включается основная заработная плата работников, участвующих в выполнении работ.

Статья включает сумму основной заработной платы и дополнительной заработной платы работников, которые непосредственно заняты выполнением НИИ:

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (составляет 12-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{60450 \cdot 10,4}{229} = 2745,33 \text{ руб.},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 28 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 56 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней.

Таблица 5.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	14	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	229	209

Расчет месячного должностного оклада руководителя:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 35860 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 69927 \text{ руб.},$$

где  $Z_{TC}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 ( т.е. 30% от  $Z_{TC}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок принят на уровне 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска).

Дополнительной заработной платой является вознаграждение за труд сверх установленной нормы, за трудовые успехи и за особые условия труда.

Руководитель:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 69927 = 8391,24 \text{ руб.}$$

Инженер:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 97705,30 = 11724,64 \text{ руб.}$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы принимается в размере 0,12.

Расчёт основной заработной платы приведен в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ТС}$ , руб	$k_{пр}$	$k_{Д}$	$k_{Р}$	$Z_{м}$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_{р}$ раб. дн	$Z_{доп}$ , руб.	$k_{доп}$	$Z_{доп}$ , руб.	Итого, руб
Руководитель	35860	0,3	0,2	1,3	60450	2745,33	22	69927	0,12	8391,24	78318,24
Инженер	21760	0,3	0,2	1,3	33150	1776,46	55	97705,30	0,12	11724,64	109429,94

#### 5.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды – это обязательные отчисления, установленные законодательством Российской Федерации нормами государственного социального страхования (ФСС); пенсионного фонда (ПФ); медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (69927 + 8391,24) = 23495,5 \text{ руб.}$$

Инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (97705,30 + 11724,64) = 32828,98 \text{ руб.}$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды. В 2020 году равен  $k_{внеб} = 30,2\%$ .

#### 5.3.5. Накладные расходы

Накладные расходы – это все прочие затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов, учитываются прочими затратами организации.

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{пр} = (Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб} + Z_{м} + A) \cdot 0,16 = \\ = (158102,56 + 18972,31 + 53122,46 + 304 + 3967,64) \cdot 0,16 = 37515,03 \text{ руб.}$$

где  $k_{пр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Коэффициент накладных расходов примем 16%.

#### 5.3.6. Формирование бюджета затрат научно-технического проекта

На данном этапе необходимо определить итоговые затраты на научно-технический проект по разработке системы электроснабжения ремонтно-механического завода.

Таблица 5.14 – Расчет бюджета затрат НТИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	% к итогу
1	Материальные затраты НТИ	309,00	0.11
2	Амортизация	3967,64	1.46
3	Затраты по основной заработной плате	158102,56	58.13
4	Затраты по дополнительной заработной плате	18972,31	6.98
5	Отчисления во внебюджетные фонды	53122,46	19.53
6	Накладные расходы	37515,03	13.79
<b>Бюджет затрат проекта</b>		<b>271989,00</b>	<b>100</b>

Таким образом, бюджет затрат проекта, согласно произведенным расчетам, составил 271989 рублей.

## 5.4. Определение капитальных вложений в электрооборудование

Определение капитальных вложений в электрооборудование является одной из самых важных при проектировании системы электроснабжения завода. В данном разделе будут рассчитаны затраты на покупку электротехнического оборудования, его доставку и монтаж в соответствии с современными ценами на энергетическом рынке.

### 5.4.1. Затраты на электротехническое оборудование ГПП завода

В данном подразделе рассматриваются затраты на электротехническое оборудование ГПП завода, которые включают затраты на покупку, доставку и монтаж силовых трансформаторов, трансформаторов собственных нужд, трансформаторов тока и напряжения, разъединителей, ограничителей перенапряжения, предохранителей, маломасляных и вакуумных выключателей и конденсаторных установок.

Стоимость доставки примем в размере 5% от стоимости электрооборудования. Стоимость монтажных работ в размере 20% от стоимости оборудования. Рассчитанные затраты сведены в таблицу 5.15.

Таблица 5.15– Затраты на электротехническое оборудование ГПП

Наименование	Стоимость покупки, руб.	Стоимость доставки, руб.	Стоимость монтажа, руб.	Суммарная стоимость, руб.
<b>Силовые трансформаторы</b>				
ТМН-6300/35	24000000	1200000	4800000	30000000
ТМ-1000/10	3320000	166000	664000	4150000
ТМ-630/10	2192000	109600	438400	2740000
Итого				36890000
<b>Трансформаторы тока и напряжения</b>				
ЗНОМ-35 У1	29408	1470,4	5881,6	36760
ТШЛ-10 У3	35134	1756,7	7026,8	43917,5
ТФЗМ35Б У1	440000	22000	88000	550000
НТМИ-10-71У3	44574	2228,7	8914,8	55717,5
Итого				686395

Продолжение таблицы 5.15

Защитная и коммутационная аппаратура				
РДЗ-35/1000-УХЛ1	476000	23800	95200	595000
ОПН 35 УХЛ1	132000	6600	26400	165000
ВВУ-35-40/630-УХЛ1	1300000	65000	260000	1625000
ВЭ-10-20/1250-У3	821790	41089,5	164358	1027237,5
Итого				3412237
Суммарный затраты:				4265296

Стоимость доставки примем в размере 5% от стоимости покупки, что составит 170612 руб.

Стоимость монтажных работ примем в размере 20% от стоимости покупки, что составит 682447 руб.

#### **5.4.2. Затраты на электротехническое оборудование инструментального цеха завода**

В данном подразделе включаются затраты на электротехническое оборудование инструментального цеха завода на покупку, доставку и монтаж кабелей для электроснабжения отдельных ЭП, автоматических выключателей для защиты отдельных ЭП, кабелей для питания ПР и автоматических выключателей для защиты ПР. Рассчитанные затраты представлены в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Затраты на электротехническое оборудование инструментального цеха

Наименование	Стоимость покупки, руб.	Стоимость доставки, руб.	Стоимость монтажа, руб.	Суммарная стоимость, руб.
Кабели к отдельным ЭП				
АВВГ(5х4)	2700	135	540	3375
АВВГ(5х6)	3200	160	640	4000
АВВГ(5х10)	4240	212	848	5300
АВВГ(5х16)	3750	187,5	750	4687,5
АВВГ(5х25)	11900	595	2380	14875
АВВГ(5х50)	20500	1025	4100	25625
АВВГ(5х95)	18200	910	3640	22750
Итого				80612,5
Автоматические выключатели к отдельным ЭП				
Compact NSXm	105721	5286	21144,2	128470,45
Compact NSXm	16973	848,65	3394,6	21216,25
Итого				149686,7
Кабели от РП1 к ПР				
АВВГ(5х16)	15000	750	3000	18750
АВВГ(5х25)	11900	595	2380	14875
АВВГ(5х35)	7250	362,5	1450	9062,5
АВВГ(5х50)	20500	1025	4100	25625
АВВГ (5х95)	29520	1476	5904	36900
АВВГ (5х120)	66600	3330	13320	83250
АВВГ (5х150)	27050	1352,5	5410	33812,5
Итого				222275
Автоматические выключатели для защиты ПР				
EasyPact MVS	12584	629,2	2516,8	15730
Итого				15730
Суммарные затраты				468304,2

Пример расчета:

Кабель АВВГ (4х4) для некоторого ЭП15

Стоимость за 1 м – 27 руб., стоимость 100 м – 2700 руб.

Стоимость доставки примем в размере 5% от стоимости покупки, что составит 135 руб.

Стоимость монтажных работ примем в размере 20% от стоимости покупки, что составит 540 руб.

Таким образом, был произведён поиск и подбор оптимального по цене и характеристикам электрооборудования, в соответствии с ранее приведенными расчетами.

## 5.5. Ресурсоэффективность

Определение ресурсоэффективности будем производить на основе интегрального показателя ресурсоэффективности.

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта;

$b_i$  – бальная оценка проекта.

Таблица 5.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент	Бальная оценка		
		Б1	Б2	Б3
1. Надежность	0,4	5	2	4
2. Безопасность	0,2	5	3	4
3. Простота эксплуатации	0,2	5	4	4
4. Ремонтопригодность	0,1	5	4	4
5. Уровень материалоемкости	0,1	3	5	4
Итого	1.0			

$$I_{p-1} = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 = 4,8;$$

$$I_{p-2} = 2 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 3,1;$$

$$I_{p-3} = 4 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 = 4,0.$$

Ресурсоэффективность радиальной схемы электроснабжения была подтверждена ( $I_{p-1} = 4,8$ ) с помощью расчета интегрального показателя ресурсоэффективности и сравнения его с другими схемами.

## **6. Социальная ответственность**

Данный раздел ВКР посвящен выполнению анализа и разработке мер по обеспечению благоприятных условий труда при выполнении работ в расчётном цехе (цех полуфабрикатов) заданного производства (Великолукский мясокомбинат). Произведен анализ вредных факторов таких как: превышение уровня шума, вибрации, отклонение показателей микроклимата. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды, защиты в случае чрезвычайной ситуации, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Персонал, обслуживающий электроустановки и оборудование проектируемой системы электроснабжения, работает в условиях возможного воздействия ряда неблагоприятных для здоровья факторов, обусловленных состоянием помещений и характером производства. В связи с этим, обязательным является соблюдение санитарных норм проектирования промышленных предприятий.

### **6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Какие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в Постановлении Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188:

– «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки» [24], Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда»

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций».

Законодательно предусмотрено, что люди, работающие в опасных условиях, могут получать такие гарантии и компенсации:

- уменьшение количества рабочих часов (36 часов в неделю и меньше),

- оплачиваемый отпуск, являющемся дополнительным и предоставляемым каждый год (не меньше 7 календарных дней),
- происходит рост оплаты труда (не меньше 4% от оклада),
- льготы для пенсионного обеспечения,
- бесплатное лечение и оздоровление,
- выдача расходных материалов — спецодежды, обеззараживающих средств.

К организационным мероприятиям относят выдачу нарядов, распоряжений и допуска к работе, надзор во время работы, оформление перерывов в работе, переводов на другое рабочее место и окончание работы.

При работе по наряду бригада должна состоять не менее чем из двух человек – производителя работ и члена бригады.

Производитель работ отвечает за правильность подготовки рабочего места, выполнение необходимых для производства работ мер безопасности. Он же проводит инструктаж бригады об этих мерах, обеспечивает их выполнение ее членами, следит за исправностью инструмента, такелажа, ремонтной оснастки. Производитель работ, выполняемых по наряду в электроустановках напряжением выше 1000 В, должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV, в установках до 1000 В и для работ, выполняемых по распоряжению, – не ниже III.

## **6.2. Производственная безопасность**

Полуфабрикатный цех мясокомбината имеет ряд опасных и вредных факторов, которые значительно могут повлиять на здоровье и работоспособность трудящегося человека. Перечень опасных и вредных факторов при работе на рассматриваемом производстве, согласно используемой классификацией ГОСТ 12.0.003-2015 [25] указаны в таблице 6.1

Таблица 6.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Поражение электрическим током	-	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [2]. ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность». «Межотраслевыми правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок» ПОТРМ-016-2001; РД 153 -34,0-03,150-00 [11] ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. [18] Производственная вибрация устанавливается СН 2.2.4/2.1.8.566–96. [7] ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. [1] ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [13] СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [5]
2. Механические травмы	-	+	+	
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
4. Повышенное значение уровня шума	-	+	+	
5. Повышенный уровень вибрации	-	+	+	
6. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	

### 6.2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации оборудования.

#### Поражение электрическим током

##### 1. На стадии разработки:

Вероятность поражения электрическим током минимальна.

Проектирование работы осуществляется за компьютером или за ноутбуком.

Напряжение питания ноутбука 10-12 В (в зависимости от марки).

##### 2. На стадии изготовления и эксплуатации:

Вероятность поражения электрическим током высокая. Требуется не только инструктаж, но и группа допуска по работе с электрооборудованием. Также

проверка знаний должна осуществляться каждый год

Гигиеническое нормирование ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность». Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [26] устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, Правила устройства электроустановок и Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» (вступил в силу 4 августа 2014 года) [27].

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью, так как в цехе расположено большое количество электроприемников (78шт), токоведущих частей и распределительных пунктов. В цехе отсутствует токопроводящая пыль и влажность, но есть возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам и механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования с другой.

### **Механические травмы в цехе**

1. На стадии разработки:

Отсутствуют какие-либо источники механической травмы.

2. На стадии изготовления и эксплуатации:

В рассматриваемом цехе большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество морозильного и режущего оборудования.

### **Недостаточная освещенность рабочих зон**

Основные операции, происходящие в цехе, это работа на станках. Такая работа требует высокого уровня освещенности рабочего места, для точности изготовления изделия, а также для безопасности рабочего. В случае недостаточной освещенности, есть того, что рабочий может не заметить

вращающийся агрегат или механизм, и случайно зацепить его, что в дальнейшем может повлечь производственную травму.

Нормирование производится в соответствии с [28] СП 52.13330.2016

Таблица 6.2 – Нормированные значения КЕО

Разряд зрительной работы	Наименьшее нормированное значение КЕО %, при совместном освещении		
	Верхнем или верхнем боковом	боковом	
		В зонах с устойчивым снежным покровом	На остальной территории
I	3,0	1,0	1,2
II	2,5	0,8	1,0
III	2,0	0,6	0,7
IV	1,5	0,4	0,5
V	1,0	0,2	0,3

При проектировании зданий цехов необходимо учитывать естественную освещенность и составлять план фотоэлектрических установок таким образом, чтобы уровень КЕО (коэффициент естественной освещенности, таблица 5.2) удовлетворял нормативным требованиям.

### Повышенный уровень значений шума

Основными источниками шума на производстве являются станки и морозильные камеры различного назначения.

Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха. Длительное воздействие шума, уровень которого равен 68–92 дБ, становится причиной возникновения определенных заболеваний нервной системы. Если уровень шума превышает 84–88 дБ, то у человека может повыситься артериальное давление. Влияя на центральную нервную систему, шум становится причиной возникновения биохимических изменений в структурах головного мозга.

Общие требования по шумовой безопасности для электротехнического персонала сведены в таблицу 6.3 [29].

Таблица 6.3 - Общие требования по шумовой безопасности

Рабочие места в электроцехе	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах с среднегеометрическими частотами, Гц				Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	
Постоянные рабочие места в производственных помещениях и на территории предприятия	110	99	92	86	85

### Повышенный уровень вибрации

Источниками повышенной вибрации на территории мясокомбината являются большие морозильные камеры, перемешивающие станки и т.п.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений.

Общие требования по вибрационной безопасности для электротехнического персонала сведены в таблицу 6.4 [30].

Таблица 6.4 - Общие требования по вибрационной безопасности

Вид вибрации	Допустимый уровень вибростойкости, дБ, в октавных полосах с среднегеометрическими частотами, Гц			
	2	4	8	50
Технологическая	108	99	93	92

### Отклонение показателей микроклимата

Длительное воздействие высокой температуры при повышенной влажности может привести к гипертермии, или накоплению теплоты и перегреву организма, а пониженные показатели температуры, особенно при повышенной влажности воздуха, могут быть причиной гипотермии, или переохлаждения.

По СанПиН 2.2.4.548-96 нормируются следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока [31]. Эти данные приведены в таблице 6.5

Таблица 6.5 – Нормируемое качество воздуха

Период года	Категория работ	Температура, °С				Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с		
		Оптимальная	Допустимая				Оптимальная	Допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	Оптимальная, не более	Допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более
			верхняя граница		нижняя граница					
			на рабочих местах							
постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных							
Холодный	Средней тяжести - Пб	17-29	21	23	15	13	40-60	75	0,2	<0,4
Теплый	Средней тяжести - Пб	20-22	27	29	16	15	40-60	70 (при 25°С)	0,3	0,2-0,5

При оценке допустимых значений температуры и влажности воздуха учитывается категория тяжести работ. По степени физической тяжести работа в цехе полуфабрикатов относится к категории средней тяжести Пб.

### 6.2.2. Мероприятия по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов.

С целью защиты от поражения электрическим током при электромонтажных работах должны использоваться следующие защитные средства:

1. Для работы с электроустановками выше 1000 В применяются:

а) Основные защитные средства:

– изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, устройства и приспособления для ремонтных работ;

– изолирующие устройства и приспособления для работ на ВЛ с непосредственным прикосновением электромонтера к токоведущим частям (изолирующие лестницы, площадки, изолирующие тяги, канаты, корзины телескопических вышек, кабины для работы у провода и др.).

б) Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические перчатки;
- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- изолирующие подставки и накладки;
- плакаты и знаки безопасности.

2. Для работы с электроустановками ниже 1000 В применяются

а) Основные защитные средства:

- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

б) Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- переносные заземления;

С целью защиты от механических травм, при необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала - предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация, проведение инструктажей, вращающиеся части оборудования ограждаются, с установкой концевых выключателей которые блокируют и отключают механизмы при ее снятии ограждения (кожуха), осмотры оборудования, настройка, его смазка.

С целью повышения равномерности естественного освещения спирального осуществляется комбинированное освещение. Светлая окраска потолка, стен и производственного оборудования способствует созданию равномерного распределения яркостей в поле зрения, также рекомендуется устанавливать осветительные приборы с хорошими рассеивателями, следить за

отсутствием пыли на рассеивателях, так как это может привести к уменьшению освещенности.

С целью уменьшения шума применяют следующие методы: в источнике уменьшают, путем изменения направленности излучения, производят рациональную планировку на предприятии и цехов, применяют акустическую обработку помещений, то есть производят уменьшение шума на пути его распространения.

Если уменьшение шума не возможно до допустимых величин общетехническими мероприятиями, используют средства индивидуальной защиты. К ним относятся:

- мягкие вкладыши из ультратонкого волокна (происходит снижение шума на 5... 20 дБ);
- наушники с высокими уровнями шума (более 120 дБ);
- шлемы применяют, если вкладыши или наушники не обеспечивают нужной защиты.

С целью защиты от вибрации предусматриваются следующие меры:

Коллективные средства защиты: оградительные устройства; виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие устройства; устройства дистанционного управления.

Средства индивидуальной защиты от вибрации: виброзащитная обувь, перчатки со специальными упругодемпфирующими элементами, поглощающими вибрацию.

Для выполнения норм микроклиматических условий в цехах завода используется общеобменная, механическая приточно-вытяжная вентиляция.

### **6.3. Экологическая безопасность**

Оценка воздействия на окружающую среду согласно Федерального закона 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления (с изменениями на 7 апреля 2020 года)» [32] проводится с целью выявления характера, интенсивности, степени опасности влияния производства на состояние окружающей среды.

В процессе эксплуатации проектируемого предприятия, могут возникнуть следующие виды воздействия на окружающую среду:

- выбросы в атмосферу;
- сбросы в водные ресурсы;
- отходы производства.

В процессе убоя скота и переработки отходов мясного производства на бойнях и мясоперерабатывающих предприятиях образуется значительное количество биологических отходов, утилизация которых строго регламентируется ветеринарно-санитарными правилами сбора, утилизации и уничтожения биологических отходов.

Отходы боен и мясокомбинатов можно разделить на твердые (15%) и жидкие отходы или стоки (85%). К твердым отходам относятся ветеринарные конфискаты, непищевые отходы и малоценные в пищевом отношении продукты, получаемые при переработке скота, птицы, кроликов и других животных, а также отходы пищевой, технической и специальной продукции на мясокомбинатах, в колбасных, консервных заводах (цехах).

Отходы боен, допущенные ветеринарной службой к переработке, могут перерабатываться в корма для животных, либо использовать как сырье для выработки биогаза или утилизироваться: отходы обеззараживают в биотермических ямах, сжигаются или вывозятся на утилизацию по договору с предприятиями по утилизации биологических отходов.

Снижение количества выбрасываемых в атмосферу вредных веществ осуществляется как за счет внедрения экологически безопасных технологических процессов и используемых материалов, так и в результате оснащения источников выбросов газоочистным оборудованием.

Сточные воды появляются в результате убоя скота, мойки оборудования и текущей уборки и специальными сливами отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

Твердые отходы передаются специализированным организациям для утилизации.

#### **6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. Они носят чрезвычайный характер и приводят к нарушению нормальной жизни, гибели людей и уничтожению материальных ценностей. Для данного производства наиболее типичной ЧС является пожар.

Основной причиной пожаров на предприятиях является нарушение технологического режима. Это связано с большим разнообразием и сложностью технологических процессов. Основы противопожарной защиты определяются Федеральным законом от 22.07.2008 №123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [33].

Ответственность за соблюдение необходимого противопожарного режима возлагается на руководителя предприятия и начальника цеха.

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции.

Согласно Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, помещения и здания по взрывопожарной и пожарной опасности классифицируются на категории А, Б, В, Г и Д. Рассматриваемый цех относится пожароопасной категории Е

В помещении цеха устанавливается пожарный инвентарь, в который входит (согласно ВППБ 01-02-95 РД 153-34.0-03.301-00 [34]) такие первичные средства пожаротушения, как (из расчета на 800 м<sup>2</sup> защищаемой площади):

- ручные углекислотные огнетушители ОУ-2 (2 шт.), ОУ-5 (1 шт.);
- пенный огнетушитель (2 шт.);
- ящик с песком;
- асбест;
- ведра;
- лопаты и багор.

Кроме того, в некоторых помещениях цеха используются стационарные установки пожаротушения.

В рассматриваемом цехе возможен пожар Класса Е (пожар, связанный с горением электроустановок).

Для локализации небольших загораний обслуживающий персонал до прибытия передвижных средств пожаротушения должен использовать первичные средства пожаротушения, находящиеся на пожарных щитах.

В цехе используются пожарные гидранты надземного типа. Гидранты обозначены указательной табличкой. Пожарный рукав и вся необходимая арматура располагается рядом с гидрантом в специальном шкафу.

На предприятии используется система автоматической пожарной безопасности, основанная на датчиках различных видов (дымовые, тепловые, датчики пламени). В случае возникновения пожара, срабатывает система оповещения — подается световой и звуковой сигнал об опасности.

## Заключение

Целью работы было осуществление электроснабжения электроприёмников мясокомбината с детальной проработкой цеха полуфабрикатов

Одной из задач было проведение инженерных изысканий, связанных с изучением климата, географических и геологических условий местности. С учетом изученных условий производилось дальнейшее проектирование объекта электроснабжения, выбор оборудования, соответствующего климатическим условиям, и канализация электрической энергии.

Первым этапом для достижения цели было предварительное определение расчетной электрической нагрузки цеха методом упорядоченных диаграмм.

Расчетная электрическая нагрузка предприятия была определена методом коэффициента спроса. При расчете были учтены потери мощности в трансформаторах цеховых подстанций и ГПП, и потери в высоковольтных линиях.

По расчетным нагрузкам цехов была построена картограмма нагрузок и определен центр электрических нагрузок предприятия. Максимально близко к центру электрических нагрузок, с учетом расположения объектов и подъездных путей, была установлена главная понизительная подстанция.

Далее было определено число и мощность цеховых трансформаторов. С учетом выбранного числа трансформаторов был произведен расчет и выбор компенсирующих устройств. Компенсация реактивной мощности позволила уменьшить загрузку трансформаторов цеховых подстанций, а также привести коэффициент мощности цехов к требуемому значению.

Распределительная сеть 10 кВ по территории предприятия и питание высоковольтных двигателей осуществлено кабельными линиями с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвБП, проложенными в коробах. Питание осуществлено по радиальным линиям.

По результатам расчета короткого замыкания проводники 10 кВ были проверены на термическую стойкость.

При разработке схемы внешнего электроснабжения учитывалась категоричность электроприемников объекта, а также простота и надежность схемы. Было выбрано оборудование открытого распределительного устройства,

проведены проверки по номинальным параметрам, а также на стойкость токам короткого замыкания.

В качестве закрытого распределительного устройства были приняты ячейки КРУ. Такое РУ позволяет безопасно производить обслуживание, осуществлять ремонт и замену элементов высоковольтного оборудования.

Следующим этапом было осуществлено электроснабжение промышленных потребителей в здании цеха. На данном этапе электроприемники были распределены по пунктам питания, были рассчитаны номинальные параметры приемников, а также была определена расчетная нагрузка цеха с учетом распределения электроприемников.

Приёмники цеха запитываются от распределительных пунктов пятижильными кабелями с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией марки АВВГнг-LS, с прокладкой по лоткам и в коробах. Защита электроприемников и кабельных линий осуществляется автоматическими выключателями.

Карта селективности, построенная по результатам выбора аппаратов защиты, показала, что селективность обеспечивается. А эпюра отклонения напряжения, построенная для максимального, минимального и послеаварийного режимов, показала, что во всех режимах работы у электроприёмников поддерживается напряжение в допустимых пределах и выбранные сечения пригодны для эксплуатации.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Анализ конкурентных технических решений с учетом различных требований к схеме электроснабжения показал, что наиболее конкурентоспособной среди всех схем является радиальная схема.

С помощью SWOT-анализа была проанализирована радиальная сеть с точки зрения конкурентоспособности. В SWOT-анализе были оценены сильные, слабые стороны проекта, угрозы и возможности.

На следующем этапе было произведено календарное планирование работ,

при котором длительность работ составила 55 календарных дней. На основе рассчитанных данных была построена диаграмма Ганта.

Итоговые затраты на научно-исследовательский проект составили 169319,4 руб., около 60% затрат приходится на выплату основной заработной платы исполнителям проекта.

Радиальная схема электроснабжения, применяемая при проектировании системы электроснабжения Великолукского мясокомбината, обладает высокой конкурентоспособностью по сравнению с другими схемами. Она обеспечивает высокую надёжность, так как авария на одной линии не влияет на работу ЭП, подключенных к другой линии. Выполняется обычно проводами или кабелями. Может применяться в цехах с любой окружающей средой. Обеспечивает удобство автоматизации.

Выводы по главе «Социальная ответственность»:

В ходе составления данного раздела была изучена НТД, нормирующая правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности производства.

Так же проанализированы вредные и опасные факторы, влияющие на условия труда рабочих, приведены меры по их устранению в соответствии с НТД. В соответствии с этим были приведены возможные льготы, компенсирующие вредные условия труда для рабочих. Вид компенсации и её размер устанавливается Трудовым кодексом РФ.

Объектом исследования является мясокомбинат, деятельность которого неразрывно связана с образованием большого количества твердых и жидких отходов натурального (животного) происхождения. Утилизация этих отходов строго регламентируется ветеринарно-санитарными правилами сбора, утилизации и уничтожения биологических отходов.

Рассмотрены вопросы безопасности в чрезвычайных ситуациях. Наиболее вероятным из ЧС на данном предприятии исходя из специфики производства, географического положения и климатических условий является пожар. Поэтому в соответствующем пункте данного раздела приведены стандарты и меры по защите именно от этой чрезвычайной ситуации.

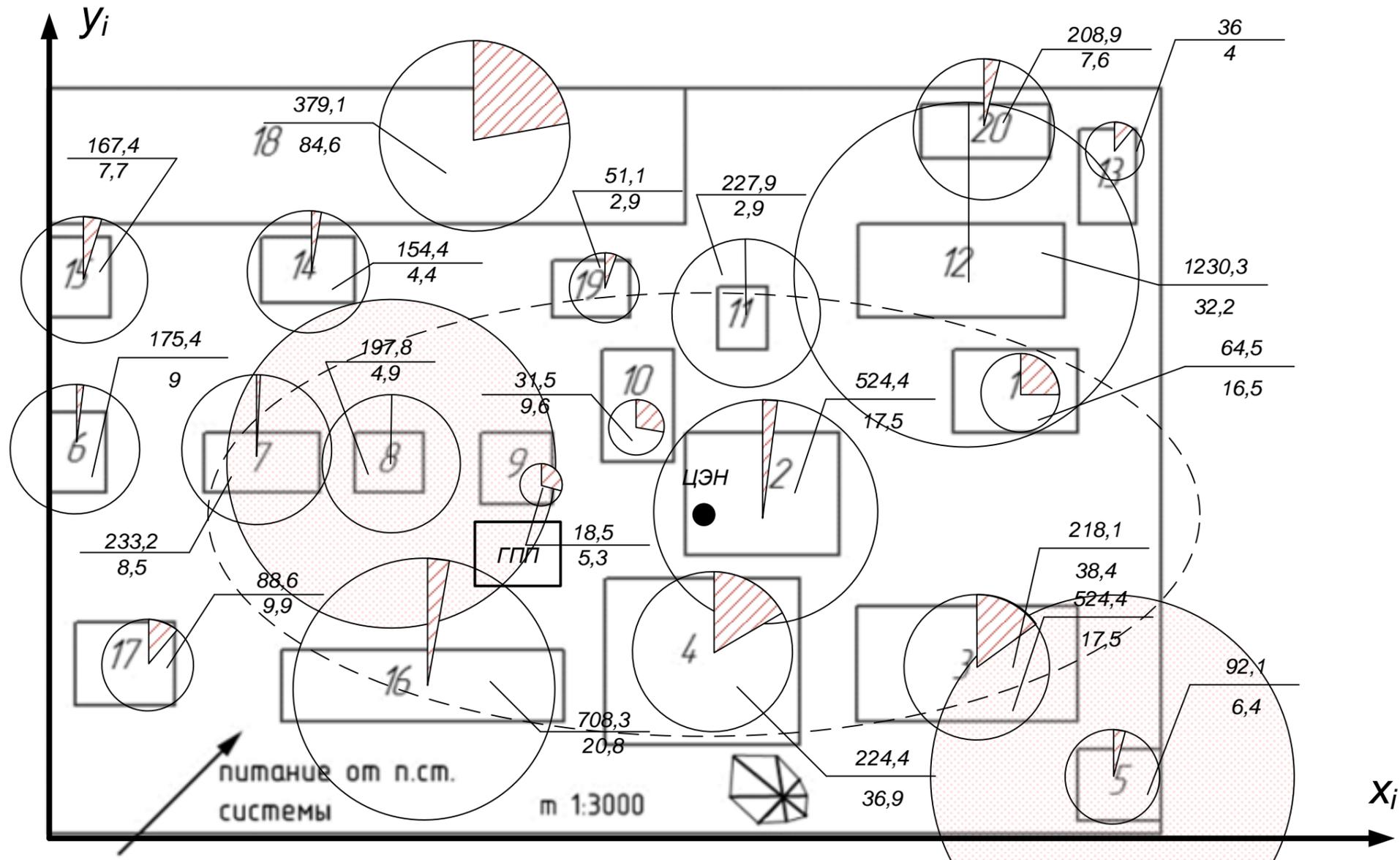
Целью проектирования является составление готового проектного решения, которое может быть использовано при разработке объектов. В итоге, при соблюдении всех установленных правил эксплуатации электроустановок в цехе, применении защитных мер от вредных факторов и соблюдения норм согласно нормативным документам, трудовая деятельность на данном предприятии будет благоприятной как для здоровья рабочих, так и для окружающей среды.

### Список использованных источников

1. Сумарокова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / Л.П. Сумарокова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
2. Виликие Луки [Электронный ресурс]. – [https://ru.wikipedia.org/wiki/Великие\\_Луки](https://ru.wikipedia.org/wiki/Великие_Луки)
3. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
4. Почвы: характеристики и карты [Электронный ресурс]. – <https://ezrf.ru/poleznye-stati/pochvy-harakteristiki-i-karty>
5. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
6. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: Учеб. пособие – Томск: Изд-во ТПУ 2006.
7. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания/ А.И. Гаврилин, С.Г. Обухов, А.И. Озга – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.
8. Климова Г.Н. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие/ Г.Н. Климова, А.В. Кабышев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
9. Конденсаторные установки УКМ 58 [Электронный ресурс]. – <http://khomovelectro.ru/catalog/kondesatornye-ustanovki/kondensatornye-ustanovki-ukm-58.html>
10. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. –М.: Энергоатомиздат, 1984.
11. Справочник по проектированию электроэнергетических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.
12. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
13. Логинова С.Е., Логинов А.В., Ударов В.М., Шийко А.П. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с

- самонесущими изолированными и защищёнными проводами. Книга 4. Система защищенных проводов напряжением 6-20 кВ. Том 2. Редакция 2. С-Пб: ENSTO – «РОСЭП», 2013 г.
14. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – 3-е изд., М.: Энергоатомиздат, 1987.
  15. Выбор экрана кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на термическую устойчивость [Электронный ресурс]. – <https://raschet.info/vybor-jekrana-kabelja-s-izoljaciej-iz-sshitogo-polijetilena-na-termicheskuju-ustojchivost/>
  16. Вакуумные выключатели серии ВВУ-35. [Электронный ресурс]. – <http://www.etk-oniks.ru/Vyklyuchateli-vysokovoltnye/VVU-35.html>
  17. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. и др. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
  18. Мельников М.А. Внутрицеховое электроснабжение: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002.
  19. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч. 2 Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1000 В: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
  20. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.;
  21. Пульс цен [Электронный ресурс]: стоимость трансформаторов, кабелей, защитных аппаратов: URL: <http://www.pulscen.ru/> (дата обращения: май 2016);
  22. Положение об оплате труда в Томском политехническом университете, изд. 3, 2008 г.;
  23. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1, 2003 г.

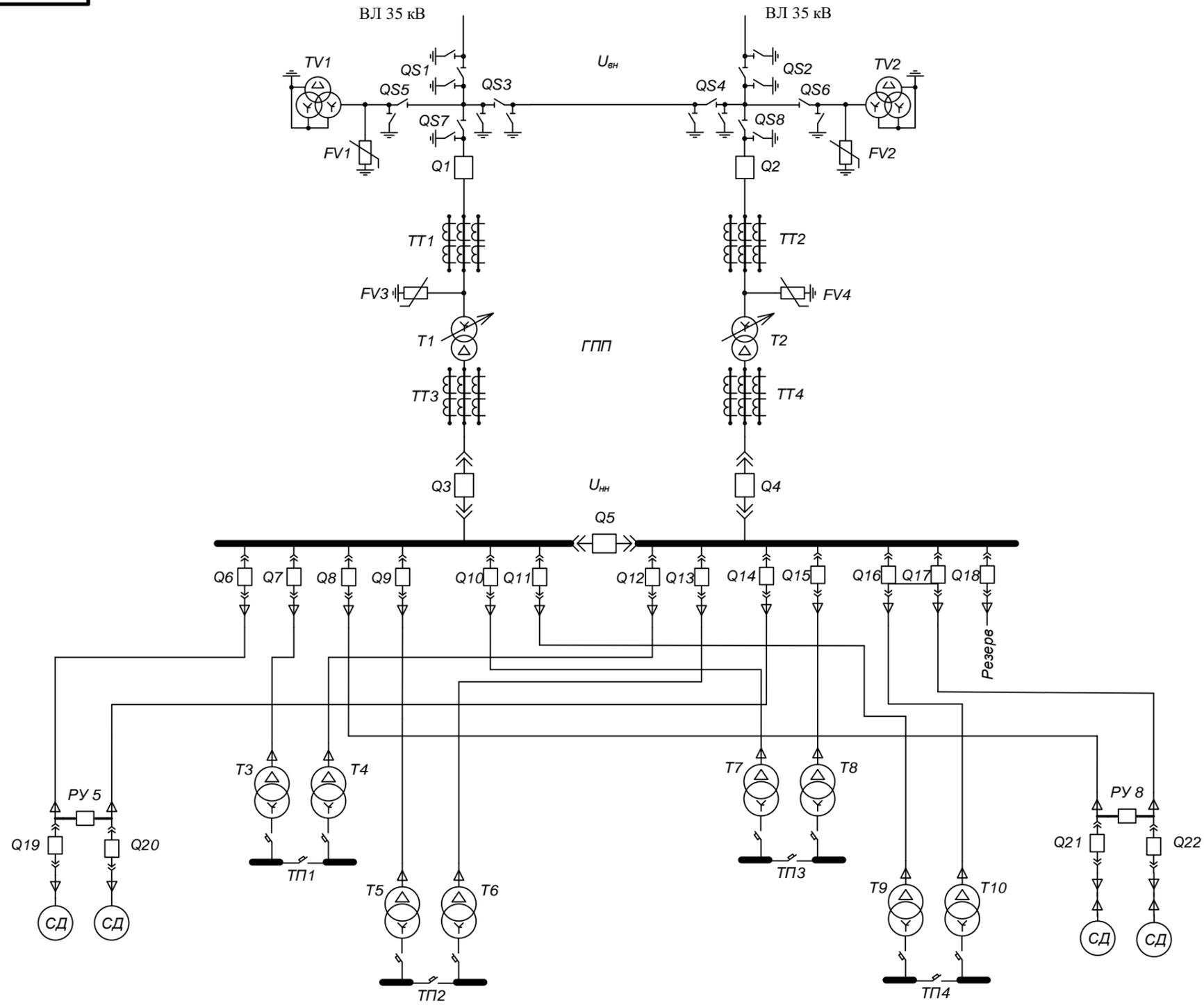
- 24.Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
- 25.ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 26.ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 27.Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»
- 28.СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНИП 23-05-95\* (с изменением N 1).
- 29.СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
- 30.СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
- 31.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 32.89-ФЗ. Об отходах производства и потребления (с изменениями на 7 апреля 2020 года).
- 33.123-ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 27 декабря 2018 года).
- 34.СП 2.2.2.1327-03 «Гигиенические требования к организации технологических процессов.
- 35.ГОСТ 17.1.3.06 – 82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.



- ГПП Главная понизительная подстанция
- ЦЭН ● Центр электрических нагрузок
- 64,5 ————— Расчетная мощность цеха, кВА
- 16,5 ————— Расчетная мощность освещения цеха, кВА
- Зона рассеяния ЦЭН
- Нагрузка 0,4 кВ
- Нагрузка 10 кВ
- Нагрузка освещения

					Приложение А			
					Картограмма электрических нагрузок			
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата		Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Айдемиров Д.Ш.						
Проверил		Герасимов Д.Ю.						
Реценз.								
Контр.					Проектирование системы электроснабжения мясакomboinata	Лист 6		Листов 6
Н.Контр.						ТПУ ИШЭ		
Утв.						Группа 5А6Д		

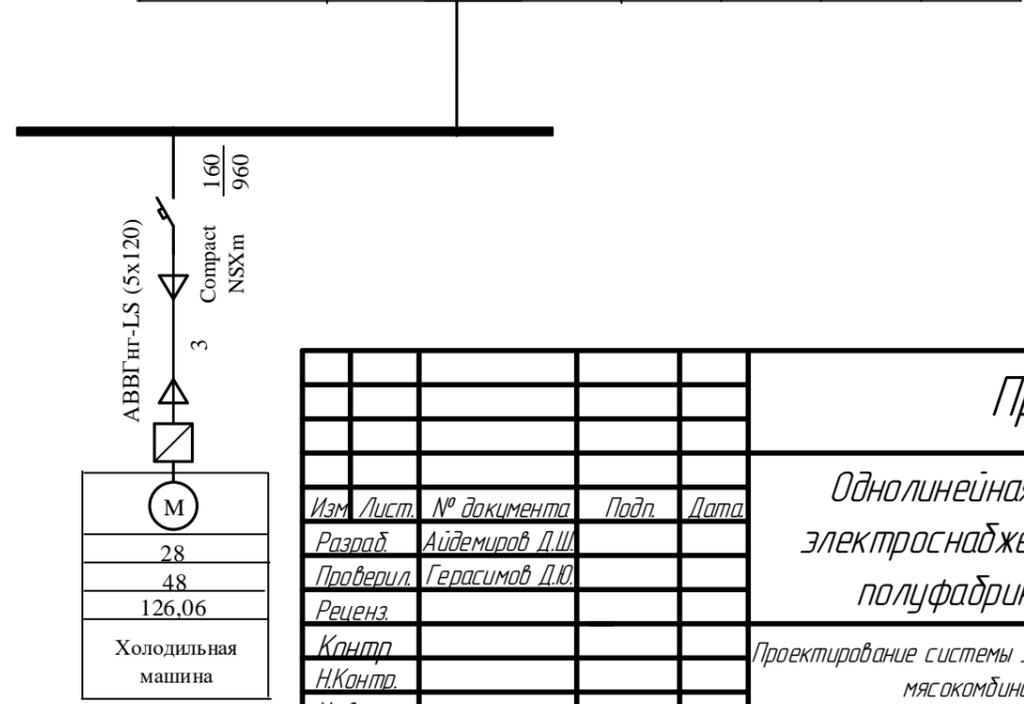
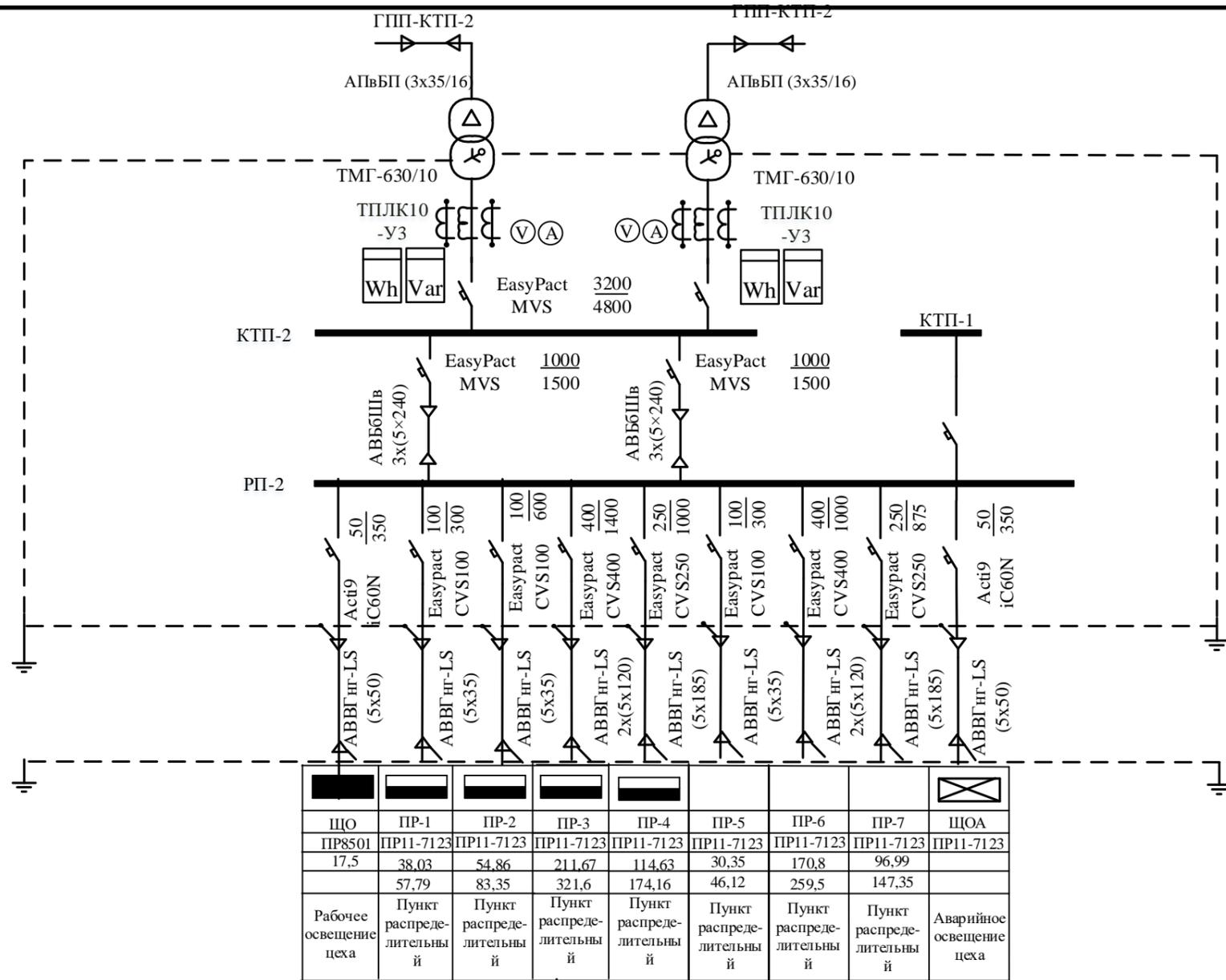




				Приложение В					
					Лит.	Масса	Масштаб		
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	Принципиальная схема электрообеспечения предприятия				
Разраб.	Айдемиров Д.Ш.								
Проверил.	Герасимов Д.Ю.								
Реценз.									
Контр.					Лист 6 / Листов 6				
Н.Контр.				Проектирование системы электрообеспечения мясокомбината					
Утв.								ТТУ ИШЗ Группа 5А6Д	

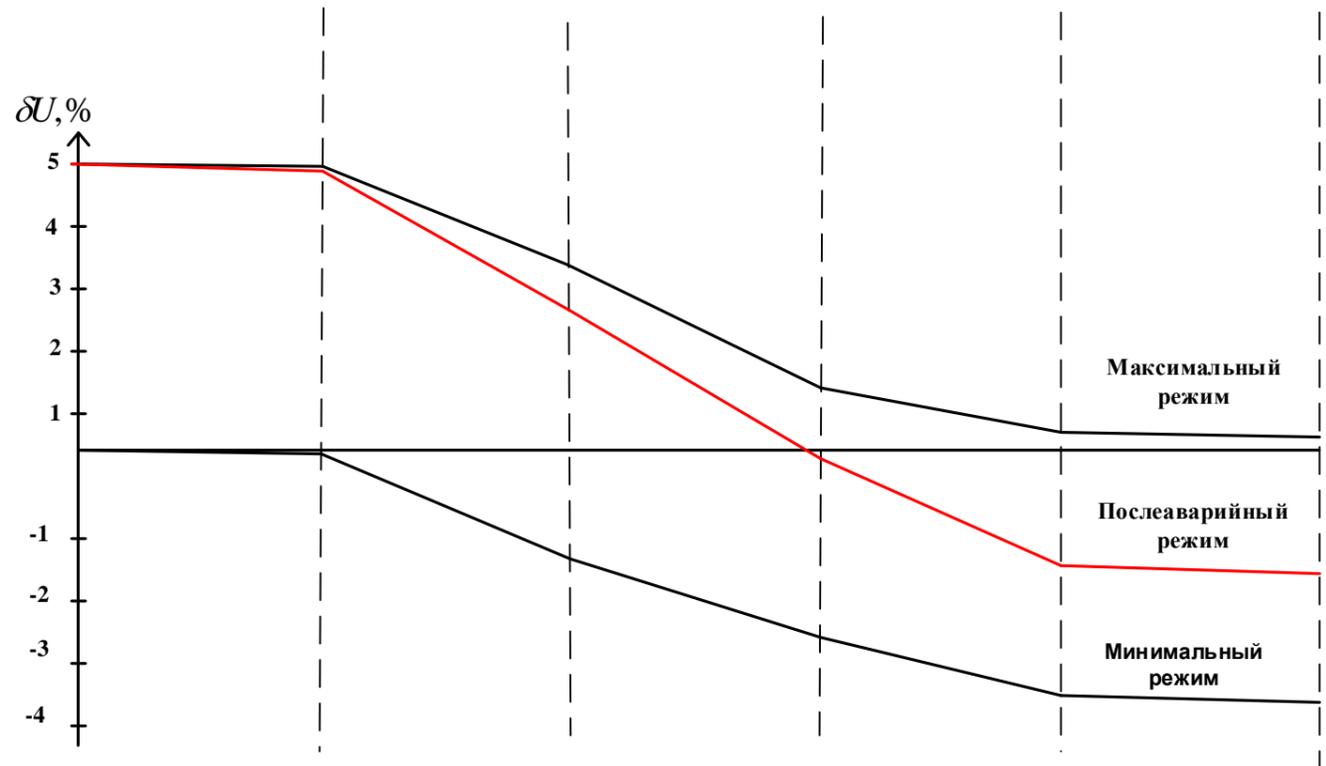
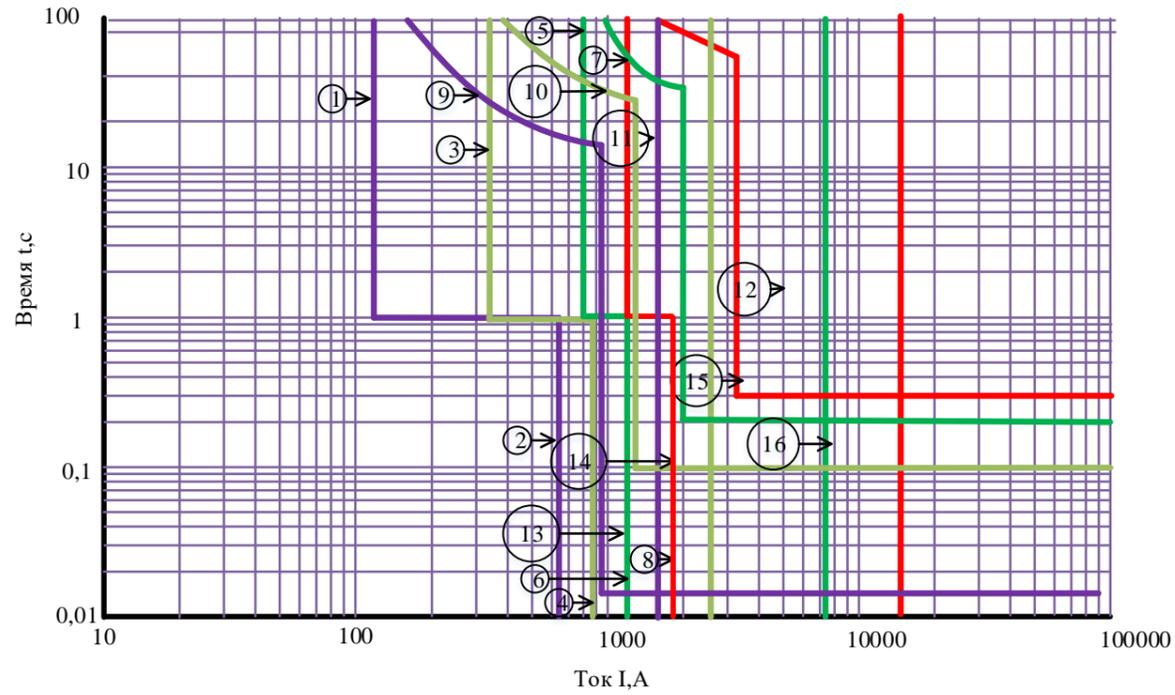
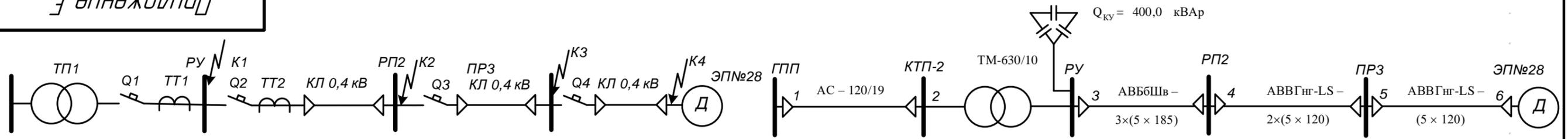


Тип питающей линии
Тип силового трансформатора
Тип измерительных приборов
Тип автомата, Ток тепл.расцепителя Ток эл.расцепителя
Тип автомата, Ток тепл.расцепителя Ток эл.расцепителя
Марка кабеля
Тип отходящего автомата, Ток тепл.расцепителя Ток эл.расцепителя
Марка кабеля Сечение отходящей линий
Условное обозначение
Номер по плану
Тип
Расчетная мощность ,Sp кВА
Ток Iр, А
Наименование механизма
Тип автомата, Ток тепл.расцепителя Ток эл.расцепителя
Марка кабеля Сечение отходящей линий Длина линии, м
Пускатель встроенный
Условное обозначение
Номер по плану
Рном, кВт
Ином, А
Наименование электроприемника



<b>Приложение Д</b>		
<b>Однолинейная схема электроснабжения цеха полуфабрикатов</b>		
Изм.	Лист	№ документа
Разраб.	Айдемиров Д.Ш.	Подп.
Проверил.	Герасимов Д.Ю.	Дата
Реценз.		
Контр.		
Н.Контр.		
Утв.		
Проектирование системы электроснабжения мясocomбината		
Лит.	Масса	Масштаб
Лист 6		Листов 6
ТПУ ИШЭ Группа 5А6Д		

Приложение Е



Узел нагрузки	КТП2	РП2	ПР3	ЭП №28
Расчетный ток $I_p$ , А	1340	797,4	321,6	—
Пиковый ток $I_{пик}$ , А	1895	1352	876,3	—
Номинальный ток $I_{ном}$ , А	—	—	—	126,06
Пусковой ток $I_{пуск}$ , А	—	—	—	630,32
Ток КЗ $I_{кз}$ , А	16	7,3	2,6	1,6
Тип аппарата	EasyPact MVS	EasyPact MVS	Easypact CVS400	Compact NSXm
Условия срабатывания по току				
– при перегрузке $I_{ном.расч}$ , А	1600	1000	400	160
– при КЗ $I_{кз}$ , А	3200	2000	1400	960
Условия срабатывания по времени, с	0,3	0,2	0,1	0,02

					Приложение Е				
Изм.	Лист	№ документа	Подп.	Дата	Элора отклонения напряжения Карта селективности	Лит.	Масса	Масштаб	
						Лист 6	Лист 6		
Разраб.	Айдемирал Д.Ш.								
Проверил	Герасимов Д.Ю.								
Реценз.					Проектирование системы электроснабжения мясокомбината	ТПУ ИШЗ Группа 5А6Д			
Контр.									
Н.Контр.									
Утв.									