

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электроснабжение завода среднего машиностроения с детальной проработкой деревообрабатывающего цеха

УДК 658.26

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А5Д1	Петягова Надежда Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Муравлев И.О.	К.Т.Н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т. Г.	К.Э.Н., доцент		

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		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), УК-5 *(ОК-6)), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5 *(ОК-6), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5*(ОК-6), УК-7 *(ОК-8), УК-8 *(ОК-9), ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-6 *(ОК-7), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
По профилям подготовки		
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-1 *(ОК-1, ОК-2), УК-2 *(ОК-3, ОК-4), УК-3 *(ОК-5), УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ОПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2 *(ОК-3, ОК-4), ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические системы и их компоненты.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2*(ОК-3, ОК-4), ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>

P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-4, ОПК-5, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8 ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</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

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5A5D1	Петягова Надежда Дмитриевна

Тема работы:

Электроснабжение завода среднего машиностроения с детальной проработкой деревообрабатывающего цеха	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 27.02.2020г. №58-25/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	июнь 2020 года.
------------------------------------------	-----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Получены по материалам преддипломной практики:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Генплан предприятия 2. План цеха 3. Электрические нагрузки завода 4. Типы и мощности электроприемников в цехе
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Общие сведения о предприятии 2. Определение расчетной нагрузки цеха 3. Определение расчетной нагрузки предприятия 4. Картограмма и определение центра электрических нагрузок 5. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов 6. Компенсация реактивной мощности 7. Схема внешнего электроснабжения 8. Схема внутривозвратной сети выше 1000 В 9. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

	10. Выбор и проверка оборудования в сети выше 1000 В 11. Электроснабжение цеха 12. Выбор защитных аппаратов и сечений линий, питающих распределительные пункты и электроприемники 13. Построение эпюры отклонения напряжения 14. Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В 15. Построение карты селективности действия аппаратов защиты 16. Релейная защита 17. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 18. Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Картограмма нагрузок 2. Схема электрическая принципиальная 3. Распределительная сеть 4. Схема силовой сети цеха 5. Принципиальная схема КТП 6. Однолинейная схема РП 7. Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Трубченко Т. Г.
Социальная ответственность	Ассистент ООД, Мезенцева И.Л.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	февраль 2020 года
-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Муравлев И.О.	к.т.н., доцент		

Ассистент:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5А5Д1	Петягова Надежда Дмитриевна		

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

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроснабжение

Уровень образования Бакалавриат

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:	25.05.2020
------------------------------------------	------------

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 по заводу в целом. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок.</i>	15
07.03.2020	<i>Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.</i>	15
26.03.2020	<i>Выбор и проверка внутризаводских линий. Расчет потерь в КТП и внутризаводских линиях. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП. Выбор и проверка питающих линий ГПП.</i>	10
28.03.2020	<i>Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутризаводских 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 ниже 1000В. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В. Выбор аппаратов защиты и построение карты селективности действия защитных аппаратов. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП.</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	Муравлев И.О.	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

СОГЛАСОВАНО: Руководитель ООП

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа 144 с., 20 рис., 47 табл., 42 источников, 6 прил.

Ключевые слова: электрооборудование, схема электроснабжения, линия, сеть, электроприемник, нагрузка, оборудование, защита, ток, напряжение, автомобиль, деревообработка, конвейер.

Объектом исследования является электрическая часть АО «АВТОВАЗ».

Цель работы – проектирование схемы электроснабжения предприятия, выбор оборудования.

В процессе исследования проводился сбор исходных данных в ходе производственной практики на объекте исследования.

В результате была спроектирована схема электроснабжения от подстанции энергосистемы, до конечного электроприемника. Были выбраны кабели и провода, коммутационное оборудование, были сделаны необходимые проверки. Также результатом работы стал экономический расчет капитальных затрат на сооружение данной схемы, определены условия безопасного труда рабочих предприятия.

Основные характеристики: схема электроснабжения состоит из кабельных и воздушных линий электропередачи. В высоковольтной сети применяются элегазовые выключатели, в низковольтной сети автоматические выключатели. Воздушные линии располагаются на опорах, кабельные – на лотках и в коробах. Схема проста в эксплуатации и надежна по степени бесперебойности питания. Схема пригодна к эксплуатации.

Значимость проектирования схемы электроснабжения очень высокая, так как от правильной ее работы зависит работа всего предприятия.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В разделе приведены все сокращения и графические обозначения, используемые при выполнении курсового проекта.

Сокращения

ГПП – главная понизительная подстанции 220-35/10 кВ;

ТП – трансформаторная подстанция 6-10 кВ;

РП – распределительный пункт 6-10 кВ;

ВРУ – вводное распределительное устройство 0,4 кВ;

РУвн – распределительное устройство высокого напряжения, свыше 1000 В;

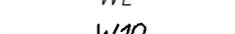
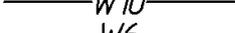
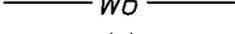
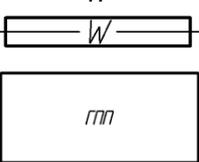
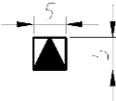
РУнн – распределительное устройство низкого напряжения, ниже 1000 В;

ЦН – центр электрических нагрузок;

ВЛ – воздушная линия электропередач;

КЛ – кабельная линия электропередач.

Графические обозначения

	– Воздушная линия электропередач 6-10 кВ
	– Воздушная линия электропередач 0,4 кВ
	– Воздушная линия электропередач 0,4 кВ
	– Кабельная линия 6-10 кВ
	– Кабельная линия 0,4 кВ
	– Кабельная линия в термостойкой защитной трубе
	– Главная понизительная подстанция (размер фигуры чертится в соответствии с масштабом чертежа и классом напряжения подстанции)
	– Трансформаторная подстанция 6-10/0,4 кВ
	– Распределительное устройство 6-10 кВ
	– Распределительное устройство 0,4 кВ
	– Опора воздушной линии проходная
	– Опора воздушной линии анкерная концевая
	– Опора воздушной линии анкерная поворотная
	– Анкерное крепление провода на опоре воздушной линии

Нормативные ссылки:

1. Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда»;
2. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001. №197-ФЗ// принят ГД ФС РФ 21.12.2001;
3. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»;
4. СП.52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»;
5. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н, Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок;
6. ГОСТ 12.1.038- 82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»;
7. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности";
8. ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»;
9. ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».

Оглавление

Введение	13
1 Общие сведения об объекте электроснабжения	14
1.1 Роль предприятия в хозяйственной деятельности	14
1.2 Технологический процесс	15
1.3 Инженерные изыскания	17
1.3.1 Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности	17
1.3.2 Инженерные изыскания по климатическим условиям местности	17
1.3.3 Инженерные изыскания по гидрологическим условиям местности	18
1.4 Особенности электроснабжения предприятия	18
1.5 Исходные данные	19
2 Электроснабжение объектов на территории предприятия	23
2.1 Определение расчетной нагрузки цеха	23
2.2 Расчет электрических нагрузок предприятия	32
2.3 Картограмма электрических нагрузок	36
2.4 Распределение источников питания по территории предприятия	41
2.5 Разработка линий электроснабжения выше 1000 В по территории предприятия	47
2.6 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	51
2.7 Разработка линий электроснабжения до 1000 В по территории предприятия	59
3 Внешнее электроснабжение предприятий	61
3.1 Разработка схемы внешнего электроснабжения	61
3.2 Выбор силового оборудования	63
3.2.1 Выбор выключателей и разъединителей	63
3.2.2 Выбор измерительных трансформаторов тока	65
3.2.3 Выбор измерительных трансформаторов напряжения	68
3.2.4 Выбор ограничителя перенапряжения	70
3.2.5 Выбор трансформаторов собственных нужд	70

3.3	Разработка схемы закрытого распределительного устройства	71
4	Электроснабжение промышленных потребителей в здании деревообрабатывающего цеха	73
4.1	Выбор защитных аппаратов и проводников	73
4.2	Оценка установившегося отклонения напряжений	81
4.3	Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В	86
4.4	Построение карты селективности действия аппаратов защиты	89
4.5	Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ	91
5	Релейная защита	94
5.1	Назначение РЗА	94
5.2	Защиты трансформатора	95
5.3	Токовые защиты трансформатора от коротких замыканий	95
5.4	Газовая защита	96
5.5	Дифференциальные токовые защиты трансформаторов	97
5.6	Расчет дифференциальной защиты трансформатора ГПП	98
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	103
6.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта	104
6.2	Анализ конкурентных технических решений	105
6.3	SWOT-анализ	107
6.4	Планирование выполнения работ по проекту и формирование бюджета проектной работы	109
6.5	Выводы	115
7	Социальная ответственность	117
7.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	119
7.2	Производственная безопасность	120
7.3	Экологическая безопасность	129
7.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	130
7.5	Выводы по разделу	131
	Заключение	132

Список использованных источников	134
Приложение А ДП-ФЮРА.3710000.162.Э4 Картограмма электрических нагрузок	138
Приложение Б ДП-ФЮРА.3710000.163.Э4 Распределительная сеть	139
Приложение В. ДП-ФЮРА.3710000.164.Э4 Схема силовой сети деревообрабатывающего цеха	140
Приложение Г. ДП-ФЮРА.3710000.165.Э4 Принципиальная схема комплектной трансформаторной подстанции	141
Приложение Д. ДП-ФЮРА.3710000.166.Э4 Однолинейная схема распределительного пункта ПР1	142
Приложение Е. ДП-ФЮРА.3710000.167.Э4 Схема электрическая принципиальная	143
Приложение Ж. ДП-ФЮРА.3710000.168.Э4 Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности	144

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 выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения завода среднего машиностроения, используя при проектировании данные предприятия (генплан, план цеха, сведения об электрических нагрузках), детально проработать систему электроснабжения приемников в здании деревообрабатывающего цеха, сделать выводы.

1 Общие сведения об объекте электроснабжения

1.1 Роль предприятия в хозяйственной деятельности

АО «АвтоВАЗ» – российская автомобилестроительная компания, консолидированная дочерняя компания французской Renault Group с 2016 года. АвтоВАЗ на протяжении многих лет крупнейший производитель легковых автомобилей в России и Восточной Европе. Завод основан в 1966 году в городе Тольятти, где находятся штаб-квартира и основное производство. Входит в перечень системообразующих организаций России.

Предприятие производит автомобили под собственной торговой маркой Lada, а также автомобили марки Nissan, Renault и Datsun. Кроме того, АвтоВАЗ поставляет другим производителям машинокомплекты для выпуска автомобилей марки Lada и их модификаций.

Продукция компании:

- LADA Vesta (седан, выпускается с 2015 года, с 2017 года выпускаются LADA Vesta CNG (битопливная модификация седана), LADA Vesta SW, LADA Vesta SW Cross, с 2018 года выпускается LADA Vesta Cross);
- LADA XRAY (компактный кроссовер – выпускается с 2015 года, с 2018 года выпускается LADA XRAY Cross);
- LADA Largus (пяти- и семиместный универсал, фургон – выпускается с 2012 г., LADA Largus Cross – с 2015 года);
- LADA Granta (новое семейство выпускается с 2018 года и представлено в кузовах седан, хетчбэк, универсал и лифтбэк);
- LADA 4x4 (трехдверный универсал в производстве с 1977 года, рестайлинг 1993 год, модернизация 2009 год, 2013 год, пятидверный универсал выпускается с 1995 года, LADA 4x4 Urban – с 2014 года).

В январе 2019 года компания Alliance Rostec Auto B.V. – совместное предприятие альянса Renault-Nissan (68%) и госкорпорации «Ростех»(32%) — довела свою долю в АвтоВАЗе до 100 % и стала единственным акционером автопроизводителя.

1.2 Технологический процесс

Прежде чем поставить новый автомобиль на производство, он проходит стадии эскизного проектирования, конструирования, художественного оформления, производства узлов, сборки и заводские испытания.

Эскизное проектирование проводится на основании тщательных маркетинговых исследований. На основании исследований рынка определяется назначение новой модели автомобиля, его параметры, общий вес, грузоподъемность, мощность, набор оборудования и пределы цен.

Инженеры-конструкторы проводят расчеты и проектируют каждую деталь автомобиля. Эта работа в современных условиях выполняется с помощью компьютеров.

На пробных линиях сборки инженеры-технологи собирают опытные образцы автомобиля, используя те же инструменты, контрольно-измерительные приборы и рабочих той же квалификации, которые будут вовлечены в производство данной модели на конвейере.

После того как опытная модель сойдет с линии пробной сборки, она подвергается испытаниям в лаборатории, на полигоне и на трассе.

Пока опытные модели испытываются, отдел материально-технического снабжения закупает материалы и оборудование, необходимые для массового производства новой модели.

Каждой детали придается заданная форма способами литья, механической обработки или штамповки. После того как изготовлены все комплектующие детали, новую модель можно ставить на конвейер.

Сборочные операции производятся с использованием робототехники и автоматизированного оборудования и планируются с точностью до секунды. Каждая из деталей поступают на конвейер в нужное место и точно в срок, чтобы обеспечить непрерывность сборочного процесса.

Сборка автомобиля начинается с изготовления кузова. Пол, крыша, крылья кузова свариваются вместе на главной конвейерной линии сборочного цеха. Двери и крышка багажника навешиваются на кузов в петлях. Все металлические поверхности тщательно шлифуются и готовятся к покраске.

В малярном цехе металлические поверхности кузова грунтуют фосфатами, стыки заделывают герметикой, подвергают абразивной обработке и тщательно обмывают. В специальной камере пульверизатором на кузов наносится несколько слоев краски. Затем кузов сушится в печи, и краска образует твердое и прочное покрытие. Современная покраска в катафорезной ванне отличается высокой устойчивостью к физико-химическим воздействиям.

Сборка шасси начинается на линии оснастки двигателя. На шасси собираются ходовые узлы автомобиля, а именно двигатель, трансмиссия, рулевая передача, ведущая ось, элементы подвески, поворотные цапфы, ступицы колес, тормоза и система выпуска отработавших газов.

Оснастка двигателя включает сопряжение его с трансмиссией и установку таких узлов, как генератор, насос системы усиления руля, элементы системы управления отработавшими газами, радиатор, вентилятор системы охлаждения и приводные ремни. Оснащенный двигатель устанавливается на предназначенное ему место.

Передняя часть автомобиля изготавливается на отдельной линии сборки. Этот узел, состоящий из передних крыльев, радиатора, декоративной решетки, фар и защитных подкрылков, подвергается отделке, а потом присоединяется к основной части кузова.

После этого устанавливаются колеса, сиденья, аккумуляторная батарея, бамперы, другие функциональные и декоративные части, производится обивка салона и заправка автомобиля.

Полностью укомплектованный автомобиль направляется своим ходом на посты для регулировки света фар, установки углов схождения и развала передних колес, регулировки тормозов, проверки ходовых характеристик на динамометрических роликах.

Изготовленные автомобили перегоняются на стоянку для последующей погрузки в специальные трейлеры или железнодорожные вагоны, которыми они доставляются в торговую сеть.

1.3 Инженерные изыскания

1.3.1 Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности

Тольятти расположен в среднем течении реки Волги на её левом берегу. Город располагается в пределах степного плато, на левом берегу Куйбышевского водохранилища к северу от Самарской Луки. Рельеф городской территории определяется нахождением города в Среднем Заволжье (часть Русской равнины). Географические координаты объекта 53°31'00" с.ш. 49°25'00" в.д. [2].

Тольятти находится в часовой зоне МСК+1. Смещение применяемого времени относительно UTC составляет +4:00 [2].

Тип местности: равнинная. Высота над уровнем Балтийского моря: 90 метров [2].

Сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64: 6 баллов [3].

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

1.3.2 Инженерные изыскания по климатическим условиям местности

Тип климата – умеренно континентальный климат с жарким летом и холодной зимой. Однако он заметно смягчается Куйбышевским водохранилищем, непосредственно влияющим на территории на расстоянии 1–3 км. Значительно влияют на климат особенности планировки города, состоящего из обособленных районов, разделённых лесными массивами. [2].

Годовое количество осадков – 492 мм. Основная их часть выпадает в тёплый период года [2].

Температура воздуха наиболее холодных суток -39 °С. Абсолютная минимальная температура воздуха -43 °С. Абсолютная максимальная температура воздуха +40,5 °С. Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца +25,9 °С. Среднегодовая температура +5,4 °С [5].

Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе: 126-882 МДж/м². Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на вертикальную поверхность при безоблачном небе: 110-611 МДж/м² [5].

Преобладающее направление ветра за декабрь - февраль: Ю. Преобладающее направление ветра за июнь - август: З [5]. Город относится к II зоне по ветровому давлению [6].

Среднегодовая продолжительность гроз: от 60 до 80 часов [6].

Город относится ко II зоне по гололеду, характеризующейся нормативной толщиной стенки гололеда 15 мм [6].

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 Литейный цех	II	0,38	жаркая	700
2 Механический цех	III	0,38	нормальная	900
3 Инструментальный цех	III	0,38	нормальная	400
4 Штамповочный цех	II	0,38	нормальная	400
5 Деревообрабатывающий цех	III	0,38	пожароопасная	–
6 Сборочный цех	II	0,38	нормальная	250
7 Кузнечный цех	II	0,38	жаркая	900
8 Экспериментальный цех	III	0,38	нормальная	280
9 Компрессорная	II	0,38 (СД) 10,0	нормальная	120 2 × 550
10 Насосная	II	0,38	влажная	900
11 Лаборатория	III	0,38	нормальная	200
12 Ремонтно-механический цех	III	0,38	нормальная	250
13 Заводуправление	III	0,38	нормальная	60
Источник питания L = 12 км	–	–	–	–

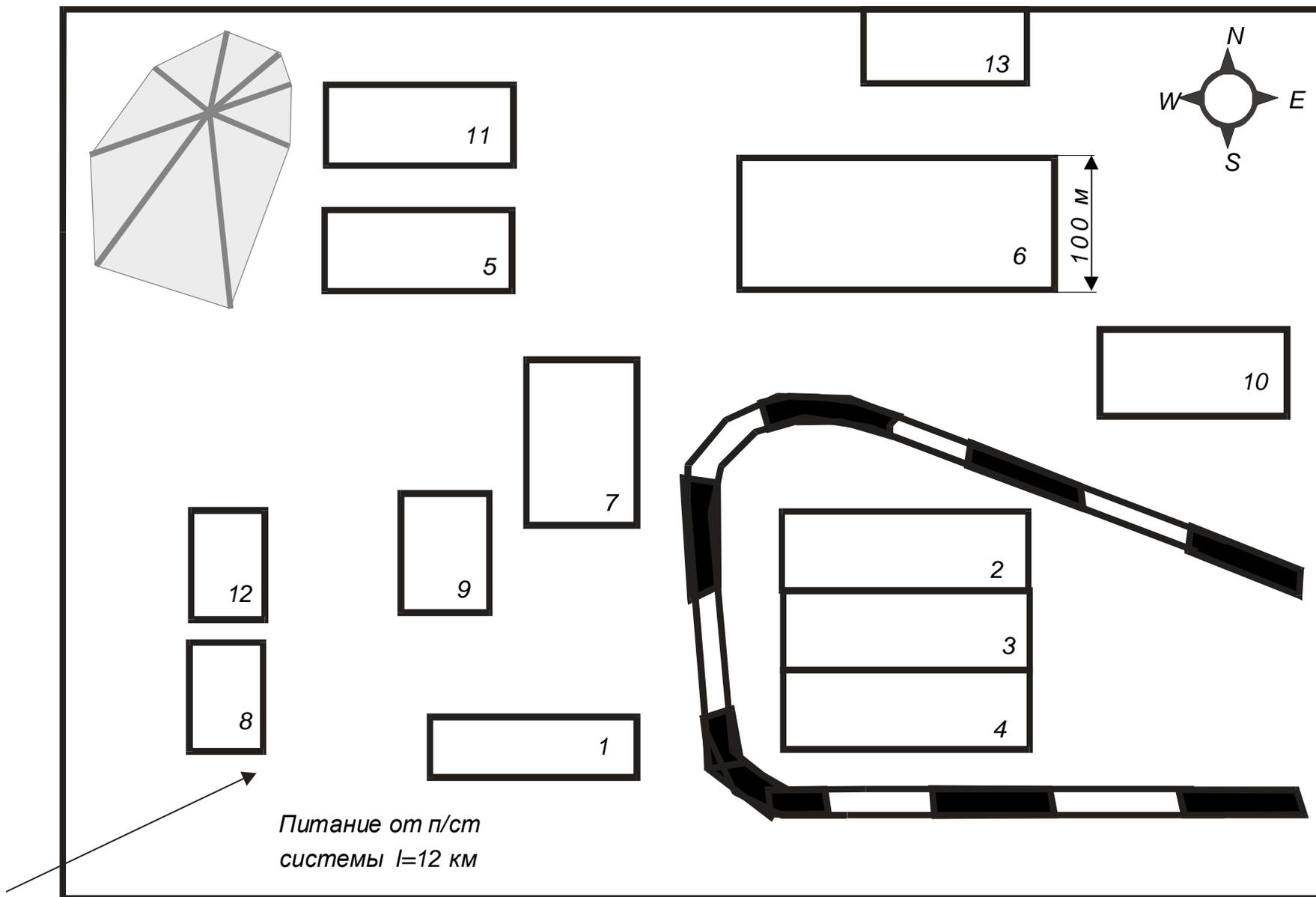


Рисунок 1.1 – Генплан предприятия

Таблица 1.2 – Сведения об электрических нагрузках деревообрабатывающего цеха

Наименование	$P_{\text{ном}},$ кВт	$k_{\text{диск}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$
1	2	3	4	5
1 Шлифовальный станок	20,0	0,16	0,65	1,17
2 Шлифовальный станок	20,0	0,16	0,65	1,17
3 Шлифовальный станок	20,0	0,16	0,65	1,17
4 Шлифовальный станок	20,0	0,16	0,65	1,17
5 Сверлильный станок	6,0	0,16	0,65	1,17
6 Сверлильный станок	6,0	0,16	0,65	1,17
7 Сушильный шкаф	55,0	0,80	0,95	0,33
8 Сушильный шкаф	55,0	0,80	0,95	0,33
9 Фуговальный станок	27,0	0,16	0,65	1,17
10 Фуговальный станок	27,0	0,16	0,65	1,17
11 Фуговальный станок	27,0	0,16	0,65	1,17
12 Фуговальный станок	27,0	0,16	0,65	1,17
13 Циркулярная пила	16,0	0,16	0,65	1,17
14 Циркулярная пила	16,0	0,16	0,65	1,17
15 Циркулярная пила	16,0	0,16	0,65	1,17
16 Пресс	9,0	0,25	0,65	1,17
17 Пресс	9,0	0,25	0,65	1,17
18 Пресс	9,0	0,25	0,65	1,17
19 Токарный станок	18,0	0,16	0,65	1,17
20 Токарный станок	18,0	0,16	0,65	1,17
21 Токарный станок	18,0	0,16	0,65	1,17
22 Токарный станок	18,0	0,16	0,65	1,17
23 Токарный станок	18,0	0,16	0,65	1,17
24 Полировочный станок	22,0	0,16	0,65	1,17
25 Полировочный станок	22,0	0,16	0,65	1,17
26 Фрезерный станок	19,0	0,16	0,65	1,17
27 Фрезерный станок	19,0	0,16	0,65	1,17
28 Клееварка	8,0	0,75	0,95	0,33
29 Клееварка	8,0	0,75	0,95	0,33
30 Сварочный трансформатор ПВ = 40%	40,0	0,30	0,40	2,29
31 Сварочный трансформатор ПВ = 40%	40,0	0,30	0,40	2,29
32 Точильный станок	6,0	0,16	0,65	1,17
33 Точильный станок	6,0	0,16	0,65	1,17
34 Точильный станок	6,0	0,16	0,65	1,17
35 Вентилятор	9,0	0,75	0,85	0,62
36 Вентилятор	9,0	0,75	0,85	0,62
37 Кран-балка ПВ = 40%	20,0	0,10	0,50	1,73

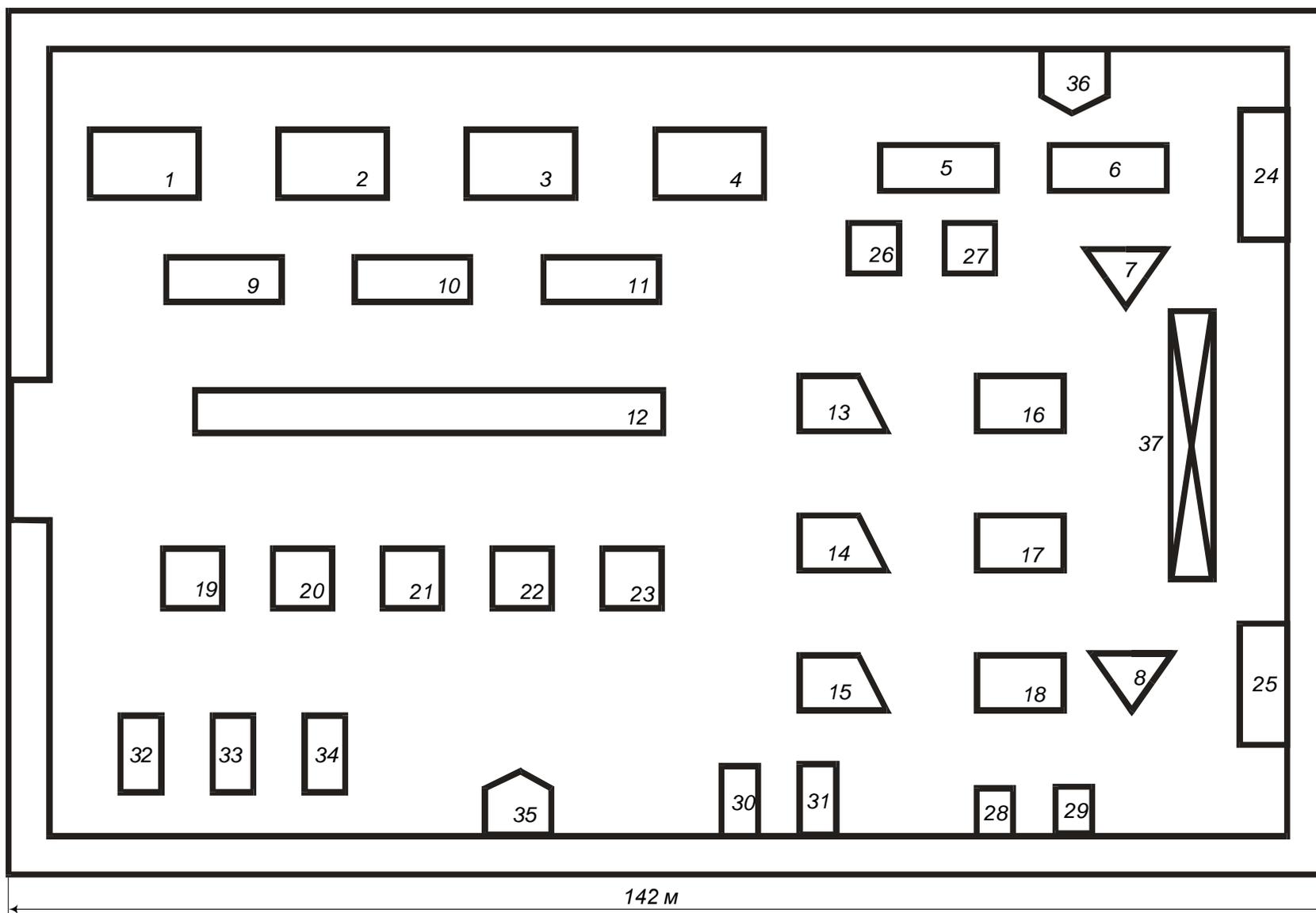


Рисунок 1.2 – План деревообрабатывающего цеха

2 Электроснабжение объектов на территории предприятия

2.1 Определение расчетной нагрузки цеха

Предварительно распределим приемники 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. Электроприемники и распределительные пункты запитываются по радиальным линиям.

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.

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

Кран-балка

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{20,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,50 \cdot 0,89} = 68,3 \text{ А},$$

$$I_{\text{ПУСК}} = K_{\text{ПУСК}} \cdot I_{\text{НОМ}} = 5 \cdot 68,3 = 341,5 \text{ А},$$

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

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

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности;

η – КПД электроприёмника;

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

Сварочный трансформатор

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi} = \frac{40,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,40} = 151,9 \text{ А},$$

$$I_{\text{ПУСК}} = K_{\text{ПУСК}} \cdot I_{\text{НОМ}} = 3 \cdot 151,9 = 455,8 \text{ А}.$$

Сушильный шкаф

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi} = \frac{55,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 88,0 \text{ А.}$$

Определение номинальных параметров электроприемников сведем в таблицу

2.1.

Таблица 2.1 – Распределение приемников по пунктам питания и определение их номинальных параметров

Наименование оборудования	п, шт	P _{ном} , кВт	K _{исп}	cosφ	tgφ	η	K _{пуск}	I _{ном} , А	I _{пуск} , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПР1 ПР11-7123									
Шлифовальный станок	4	20,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	52,5	262,6
Фуговальный станок	4	27,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	70,9	354,6
ПР2 ПР11-7123									
Сверлильный станок	2	6,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	15,8	78,8
Сушильный шкаф	1	55,0	0,80	0,95	0,33	0,95	–	88,0	–
Циркулярная пила	1	16,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	42,0	210,1
Пресс	1	9,0	0,25	0,65	1,17	0,89	5	23,6	118,2
Полировочный станок	1	22,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	57,8	288,9
Фрезерный станок	2	19,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	49,9	249,5
Вентилятор	1	9,0	0,75	0,85	0,62	0,89	7	18,1	126,5
Кран-балка ПВ = 40%	1	20,0	0,10	0,50	1,73	0,89	5	68,3	341,4
ПР3 ПР11-7123									
Токарный станок	5	18,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	47,3	236,4
Точильный станок	3	6,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	15,8	78,8
Вентилятор	1	9,0	0,75	0,85	0,62	0,89	7	18,1	126,5
ПР4 ПР11-7123									
Сушильный шкаф	1	55,0	0,80	0,95	0,33	0,95	–	88,0	–
Циркулярная пила	2	16,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	42,0	210,1
Пресс	2	9,0	0,25	0,65	1,17	0,89	5	23,6	118,2
Полировочный станок	1	22,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	57,8	288,9
Клееварка	2	8,0	0,75	0,95	0,33	0,95	–	12,8	–
Сварочный трансформатор ПВ = 40%	2	40,0	0,30	0,40	2,29	0,98	3	151,9	455,8

На рисунке 2.1 изображен план цеха с расположением распределительных пунктов и питаемых от них электроприемников.

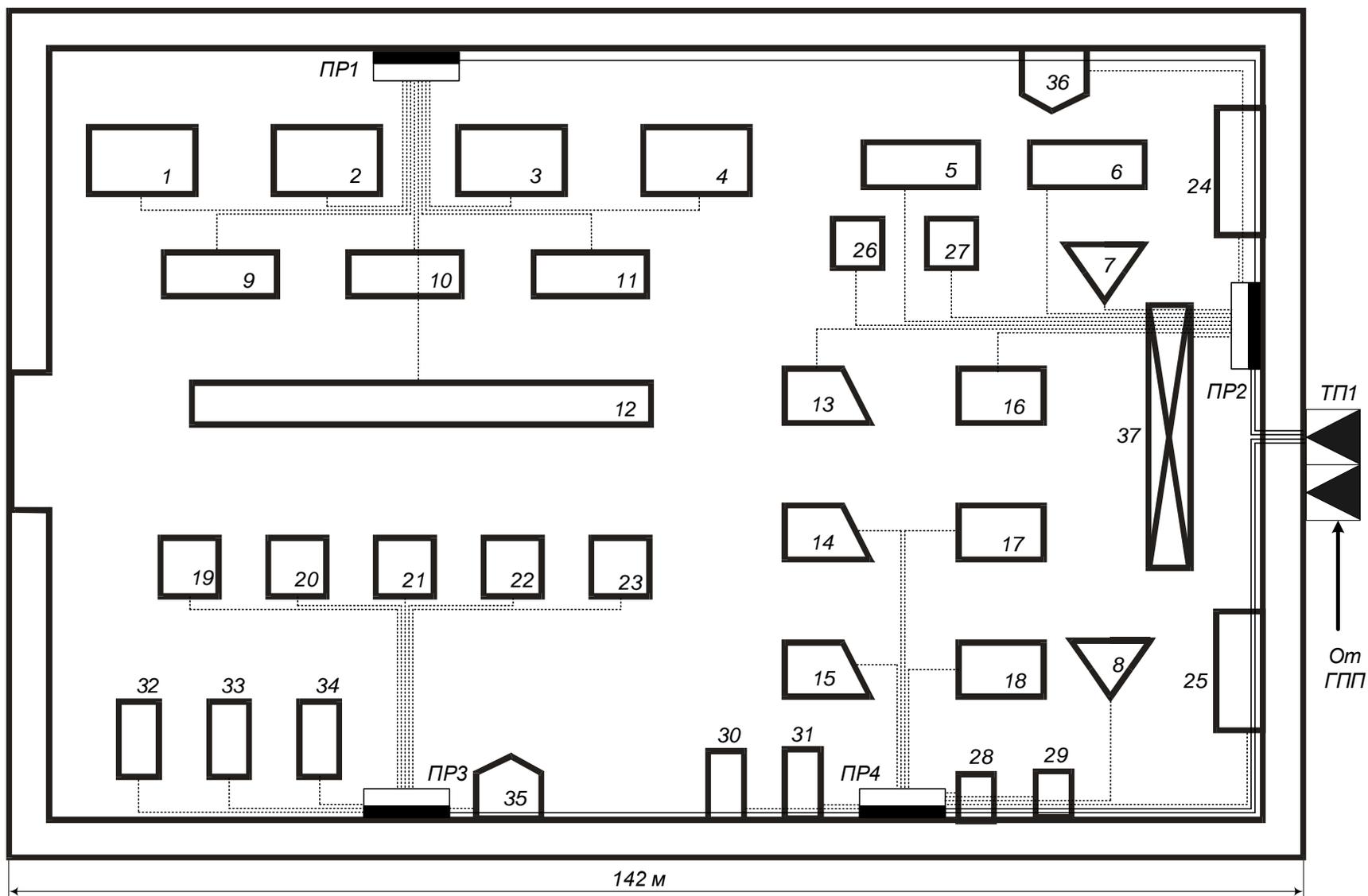


Рисунок 2.1 – План силовой и распределительной сети цеха

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

Паспортные мощности электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы (ПКР) приводятся к ПВ = 100%, то есть к номинальной установленной мощности.

Кран-балка ПВ = 40%

$$P_{ном} = P \cdot \sqrt{ПВ} = 20,0 \cdot \sqrt{0,40} = 12,6 \text{ кВт.}$$

Сварочный агрегат ПВ = 40%

$$P_{ном} = P \cdot \sqrt{ПВ} = 40,0 \cdot \sqrt{0,40} = 25,3 \text{ кВт.}$$

Пример расчета для распределительного пункта ПР2.

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

$$P_{ном.Σ} = \sum_{i=1}^n P_{ном.i} = 88,0 + 9,0 + 12,6 = 109,6 \text{ кВт.}$$

Коэффициент использования $K_{и}$, $\cos\varphi$, $\text{tg}\varphi$ 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 на примере станков

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{ном.Σ} = 0,16 \cdot 88,0 = 14,1 \text{ кВт,}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi = 14,1 \cdot 1,17 = 16,5 \text{ кВАр.}$$

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

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

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

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

$$P_{\text{CM}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{CM},i} = 14,1 + 2,3 + 1,3 = 17,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{CM}}^{\text{A}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{CM},i} = 16,5 + 2,6 + 2,2 = 21,3 \text{ кВАр}.$$

Диапазон величины модуля силовой сборки

$$m = \frac{P_{\text{НОМ.max}}}{P_{\text{НОМ.min}}} = \frac{22,0}{6,0} = 3,7 > 3.$$

Средневзвешенный коэффициент использования по группе

$$K_{\text{u.ср}} = \frac{P_{\text{CM}}^{\text{A}}}{P_{\text{НОМ.}\Sigma}} = \frac{17,6}{109,6} = 0,16.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{CM}}^{\text{A}}}{P_{\text{CM}}^{\text{A}}} = \frac{21,3}{17,6} = 1,21.$$

Эффективное число электроприемников n_3 ,

$$n_3 = \frac{[P_{\text{НОМ.}\Sigma}]^2}{\sum P_{\text{НОМ}}^2} = \frac{109,6^2}{1775,0} = 6,8 \text{ шт},$$

принимаем $n_3 = 6$ шт.

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

$$K_{\text{M}} = 2,40.$$

Коэффициент максимума реактивной мощности

$$K'_{\text{M}} = 1,1.$$

Расчетная активная и реактивная мощности для группы "А"

$$P_{\text{p}}^{\text{A}} = K_{\text{M}} \cdot P_{\text{CM}}^{\text{A}} = 2,40 \cdot 17,6 = 42,2 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{p}}^{\text{A}} = K'_{\text{M}} \cdot Q_{\text{CM}}^{\text{A}} = 1,1 \cdot 21,3 = 23,4 \text{ кВт}.$$

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

$$P_{\text{p}}^{\text{B}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ},i}^{\text{B}} = 64,0 \text{ кВт}, \quad Q_{\text{p}}^{\text{B}} = \sum_{i=1}^n (P_{\text{НОМ},i}^{\text{B}} \cdot \text{tg}\varphi_i) = 23,7 \text{ кВАр}.$$

Расчетная активная, реактивная и полная мощности пункта

$$P_p = P_p^{''A''} + P_p^{''B''} = 42,2 + 64,0 = 106,2 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_p^{''A''} + Q_p^{''B''} = 23,4 + 23,7 = 47,1 \text{ кВАр},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{106,2^2 + 47,1^2} = 116,2 \text{ кВА}.$$

Расчётный тока пункта

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{116,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 176,5 \text{ А}.$$

Номинальный и пусковой токи самого мощного электроприемника пункта

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = 68,3 \text{ А}, \quad I_{\text{ПУСК}}^{\text{max}} = 341,4 \text{ А}.$$

Пиковый ток пункта

$$I_{\text{ПИК.П}} = I_{\text{ПУСК}}^{\text{max}} + (I_p - K_{\text{u,max}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}) = 341,4 + (176,5 - 0,10 \cdot 68,3) = 511,1 \text{ А}.$$

Для освещения цеха применяется светодиодное освещение.

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

$$P_{\text{н.о}} = P_{\text{уд.о}} \cdot F_{\text{ц}} = 0,006 \cdot 13107 = 78,6 \text{ кВт},$$

где $F_{\text{ц}}$ – площадь цеха, м^2 ;

$P_{\text{уд.о}}$ – удельная установленная мощность осветительной нагрузки [8, табл. 7.2], кВт/ м^2 .

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{\text{р.о}} = K_{\text{со}} \cdot P_{\text{н.о}} = 0,95 \cdot 78,6 = 74,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.о}} = P_{\text{р.о}} \cdot \text{tg}\varphi_0 = 74,7 \cdot 0,48 = 36,8 \text{ кВАр},$$

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

$\text{tg}\varphi_0$ – для светодиодных ламп.

Определение расчётной нагрузки цеха с учетом освещения

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{\text{р.о}})^2 + (Q_p + Q_{\text{р.о}})^2} = \\ &= \sqrt{(348,8 + 74,7)^2 + (192,0 + 36,2)^2} = 481,1 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Определение расчётного тока цеха

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{481,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 730,9 \text{ А},$$

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

Определение пикового тока цеха

Номинальный и пусковой токи самого мощного электроприемника цеха

$$I_{\text{ном}}^{\text{max}} = 151,9 \text{ А}, \quad I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = 455,8 \text{ А}.$$

Пиковый ток цеха

$$I_{\text{пик.ц}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_p - K_{\text{u.max}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = 455,8 + (730,9 - 0,30 \cdot 151,9) = 1141,1 \text{ А}.$$

Расчет электрических нагрузок цеха сведён в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Определение расчетных нагрузок цеха по пунктам питания

Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП, п	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	$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi$, кВАр			$P_{\text{р}} = K_{\text{м}} \cdot P_{\text{см}}$, кВт	$Q_{\text{р}} = (1 \div 1,1) \cdot Q_{\text{см}}$, 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 Станки разные	8	20,0 ÷ 27,0	188,0		0,16	0,65	1,17	30,1	35,2							
Итого по группе "А"	8	20,0 ÷ 27,0	188,0	<3	0,16	0,65	1,17	30,1	35,2	8	2,22	66,6	38,7	77,0		
Итого по ПР-1	8	20,0 ÷ 27,0	188,0		0,16	0,65	1,17	30,1	35,2			66,6	38,7	77,0	117,1	460,3
Пункт распределительный ПР-2																
Электроприемники группы "А" $K_{\text{и}} < 0,6$																
1 Станки разные	6	6,0 ÷ 22,0	88,0		0,16	0,65	1,17	14,1	16,5							
2 Пресс	1	9,0 ÷ 9,0	9,0		0,25	0,65	1,17	2,3	2,6							
3 Кран-балка ПВ = 40%	1	12,6 ÷ 12,6	12,6		0,10	0,50	1,73	1,3	2,2							
Итого по группе "А"	8	6,0 ÷ 22,0	109,6	>3	0,16	0,64	1,21	17,6	21,3	6	2,40	42,2	23,4	48,3		
Электроприемники группы "Б" $K_{\text{и}} \geq 0,6$																
4 Сушильный шкаф	1	55,0 ÷ 55,0	55,0		0,80	0,95	0,33	44,0	14,5							
5 Вентилятор	1	9,0 ÷ 9,0	9,0		0,75	0,85	0,62	6,8	4,2							
Итого по группе "Б"	2	9,0 ÷ 55,0	64,0		0,79	0,94	0,37	50,8	18,6			64,0	23,7	68,2		
Итого по ПР-2	10	6,0 ÷ 55,0	173,6		0,39	0,86	0,58	68,3	39,9			106,2	47,1	116,2	176,5	511,1

окончание таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Пункт распределительный ПР-3																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	8	6,0 ÷ 18,0	108,0		0,16	0,65	1,17	17,3	20,2							
Итого по группе "А"	8	6,0 ÷ 18,0	108,0	<3	0,16	0,65	1,17	17,3	20,2	8	2,22	38,3	22,2	44,3		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
2 Вентилятор	1	9,0 ÷ 9,0	9,0		0,75	0,85	0,62	6,8	4,2							
Итого по группе "Б"	1	9,0 ÷ 9,0	9,0		0,75	0,85	0,62	6,8	4,2			9,0	5,6	10,6		
Итого по ПР-3	9	6,0 ÷ 18,0	117,0		0,21	0,70	1,01	24,0	24,4			47,3	27,8	54,8	83,3	312,1
Пункт распределительный ПР-4																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	3	16,0 ÷ 22,0	54,0		0,16	0,65	1,17	8,6	10,1							
Прессы	2	9,0 ÷ 9,0	18,0		0,25	0,65	1,17	4,5	5,3							
2 Трансформаторы сварочные	2	25,3 ÷ 25,3	50,6		0,30	0,40	2,29	15,2	34,8							
Итого по группе "А"	7	9,0 ÷ 25,3	122,6	<3	0,23	0,49	1,77	28,3	50,1	7	2,03	57,6	55,2	79,8		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
3 Сушильные шкафы, клееварки	3	8,0 ÷ 55,0	71,0		0,80	0,95	0,33	56,8	18,7							
Итого по группе "Б"	3	8,0 ÷ 55,0	71,0		0,80	0,95	0,33	56,8	18,7			71,0	23,3	74,7		
Итого по ПР-4	10	8,0 ÷ 55,0	193,6		0,44	0,78	0,81	85,1	68,8			128,6	78,5	150,7	228,9	639,1
Итого силовая нагрузка	37	6,0 ÷ 55,0	672,2		0,31	0,78	0,81	207,6	168,3			348,8	192,0	398,8		
Электрическое освещение			78,6	$K_{co} =$	0,95	0,90	0,48	74,7	36,2			74,7	36,2			
Итого по цеху	37	6,0 ÷ 55,0	750,9		0,38	0,81	0,72	282,3	204,5			423,5	228,2	481,1	730,9	1141,1

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 2.3.

Пример расчета (Литейный цех)

$$P_{уст} = 700,0 \text{ кВт}, \quad K_c = 0,20, \quad \cos\varphi = 0,75, \quad \operatorname{tg}\varphi = 0,88.$$

Расчетные активная и реактивная мощности корпуса

$$P_p = K_c \cdot P_{уст} = 0,20 \cdot 700,0 = 140,0 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 140,0 \cdot 0,88 = 123,5 \text{ кВАр},$$

Номинальная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{н.о} = P_{уд.о} \cdot F_{ц} = 0,005 \cdot 7762 = 38,8 \text{ кВт}.$$

Таблица 2.3 – Определение расчетных нагрузок по цехам предприятия

Наименование цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка						Суммарная нагрузка		
	$P_{уст},$ кВт	K_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ кВАр	$F,$ м ²	$P_{уд\ o},$ Вт/м ²	$P_{но},$ 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 д1000 о В															
1 Литейный цех	700,0	0,20	0,75	0,88	140,0	123,5	7762	5	38,8	0,95	36,9	17,9	176,9	141,3	226,4
2 Механический цех	900,0	0,30	0,60	1,33	270,0	360,0	11907	6	71,4	0,95	67,9	32,9	337,9	392,9	518,2
3 Инструментальный цех	400,0	0,30	0,60	1,33	120,0	160,0	11907	6	71,4	0,95	67,9	32,9	187,9	192,9	269,2
4 Штамповочный цех	400,0	0,40	0,75	0,88	160,0	141,1	11907	6	71,4	0,95	67,9	32,9	227,9	174,0	286,7
5 Деревообрабатывающий цех	672,2	–	0,78	0,81	348,8	192,0	13107	6	78,6	0,95	74,7	36,2	423,5	228,2	481,1
6 Сборочный цех	250,0	0,45	0,75	0,88	112,5	99,2	24939	9	224,5	0,95	213,2	103,3	325,7	202,5	383,5
7 Кузнечный цех	900,0	0,20	0,75	0,88	180,0	158,7	11146	5	55,7	0,95	52,9	25,6	232,9	184,4	297,1
8 Экспериментальный цех	280,0	0,35	0,70	1,02	98,0	100,0	5003	9	45,0	0,80	36,0	17,4	134,0	117,4	178,2
9 Компрессорная	120,0	0,50	0,75	0,88	60,0	52,9	6551	5	32,8	0,95	31,1	15,1	91,1	68,0	113,7
10 Насосная	900,0	0,50	0,75	0,88	450,0	396,9	9922	5	49,6	0,95	47,1	22,8	497,1	419,7	650,6
11 Лаборатория	200,0	0,30	0,70	1,02	60,0	61,2	9294	9	83,6	0,80	66,9	32,4	126,9	93,6	157,7
12 Ремонтно-механический цех	250,0	0,30	0,60	1,33	75,0	100,0	5077	6	30,5	0,95	28,9	14,0	103,9	114,0	154,3
13 Заводоуправление	60,0	0,40	0,70	1,02	24,0	24,5	7479	9	67,3	0,90	60,6	29,3	84,6	53,8	100,3
Территория завода	0	–	–	–	0	0	655178	0,16	104,8	1	104,8	50,8	104,8	50,8	116,5
Итого п0,38 о кВ	6032,2	–	–	–	2098,3	1970,0	$\Sigma F_{ц} = 136001$	1025,6	–	956,9	463,4	3055,2	2433,5	3905,9	
Потребители электроэнергии выше 1000 В															
9 Компрессорная	1100,0	0,50	0,80	0,75	550,0	412,0	–	–	–	–	–	–	550,0	412,0	687,2
Итого п10 о кВ	1100,0	–	–	–	550,0	412,0	–	–	–	–	–	–	550,0	412,0	687,2

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{H.o} = 0,95 \cdot 38,8 = 36,9 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg}\varphi_o = 36,9 \cdot 0,48 = 17,9 \text{ кВАр}.$$

Полная максимальная мощность корпуса

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ &= \sqrt{(140,0 + 36,9)^2 + (123,5 + 17,9)^2} = 226,4 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Для удобства вынесем отдельно результаты расчетов

$$\sum P_p^H = 2098,3 \text{ кВт}, \quad \sum Q_p^H = 1970,0 \text{ кВАр},$$

$$\sum P_{p.o} = 956,9 \text{ кВт}, \quad \sum Q_{p.o} = 463,4 \text{ кВАр},$$

$$\sum P_p^B = 550,0 \text{ кВт}, \quad \sum Q_p^B = 412,0 \text{ кВАр}.$$

Полная мощность нагрузки предприятия на шинах напряжением $d1000 \text{ о В}$ за максимально загруженную смену

$$\begin{aligned} S_p^H &= \sqrt{\left(\sum P_p^H + \sum P_{p.o}\right)^2 + \left(\sum Q_p^H + \sum Q_{p.o}\right)^2} = \\ &= \sqrt{(2098,3 + 956,9)^2 + (1970,0 + 463,4)^2} = 3905,9 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

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

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 3905,9 = 78,1 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 3905,9 = 390,6 \text{ кВАр},$$

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 3905,9 = 117,2 \text{ кВт},$$

где ΔP_T – потери активной мощности в цеховых трансформаторах, кВт;

ΔQ_T – потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах, кВАр;

ΔP_L – потери активной мощности в линиях, кВт.

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

$$P_{p\Sigma} = \left(\sum P_p^H + \sum P_p^B \right) \cdot K_{p,m} + P_{p,o} + \Delta P_T + \Delta P_L =$$

$$= (2098,3 + 550,0) \cdot 0,95 + 956,9 + 78,1 + 117,2 = 3668,0 \text{ кВт},$$

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

$$= (1970,0 + 412,0) \cdot 0,95 + 463,4 + 390,6 = 3117,0 \text{ кВАр},$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{3668,0^2 + 3117,0^2} = 4813,5 \text{ кВА}.$$

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

Приблизительные потери мощности в трансформаторах ГПП

$$\Delta P_{T,ГПП} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 4813,5 = 96,3 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{T,ГПП} = 0,10 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 4813,5 = 481,4 \text{ кВАр},$$

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

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

Определяем полную расчетную мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП

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

$$= \sqrt{(3668,0 + 96,3)^2 + (3117,0 + 481,4)^2} =$$

$$= \sqrt{3764,3^2 + 3598,3^2} = 5207,5 \text{ кВА}.$$

Т.о., 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

$$U_{\text{эк}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{12,0} + \frac{2500}{3,764}}} = 37,6 \text{ кВ},$$

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

$$Q_c = \alpha \cdot P_p = 0,24 \cdot 3764,3 = 903,4 \text{ кВАр},$$

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

Приблизительное значение мощности компенсирующих устройств

$$Q_{\text{ку}} = Q_p - Q_c = 3598,3 - 903,4 = 2694,9 \text{ кВАр}.$$

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

$$\begin{aligned} S_{\text{р.ГПП}} &= \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{\text{ку}})^2} = \sqrt{3764,3^2 + (3598,3 - 2694,9)^2} = \\ &= \sqrt{3764,3^2 + 903,4^2} = 3871,2 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

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 (Литейный цех)

$$S_p = 226,4 \text{ кВА}, \quad S_{p,0} = \sqrt{P_{p,0}^2 + Q_{p,0}^2} = \sqrt{36,9^2 + 17,9^2} = 41,0 \text{ кВА},$$

$$x = 84,0 \text{ мм}, \quad y = 26,6 \text{ мм},$$

Радиус окружности для силовой нагрузки корпуса

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{266,4}{\pi \cdot 0,9}} = 8,9 \text{ мм},$$

где S_p – расчетная полная мощность цеха, кВА;

m – масштаб для определения площади круга нагрузки, кВА/мм².

Угол сектора нагрузки освещения корпуса

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot S_{p,0}}{S_p} = \frac{360^\circ \cdot 41,0}{226,4} = 65,1 \text{ град.}$$

Тогда

$$S_p \cdot x = 226,4 \cdot 84,0 = 19017,2 \text{ кВА} \cdot \text{мм},$$

$$S_p \cdot y = 226,4 \cdot 26,6 = 6022,1 \text{ кВА} \cdot \text{мм}.$$

Для построения зоны рассеяния ЦЭН

$$S_x = S_y = \frac{S_p}{\sum_{i=1}^n S_{pi}} = \frac{226,4}{3441,3} = 0,066,$$

$$\sigma_x^2 = S_x \cdot (x - x_0)^2 = 0,066 \cdot (84,0 - 103,3)^2 = 24,407,$$

$$\sigma_y^2 = S_y \cdot (y - y_0)^2 = 0,066 \cdot (26,6 - 69,2)^2 = 119,669.$$

Результаты расчетов располагаются в таблице 2.4.

Координаты центра электрических нагрузок предприятия

$$x_0 = \frac{\sum(S_{p,i} \cdot x_i)}{\sum S_{p,i}} = \frac{355350,9}{3441,3} = 103,3 \text{ мм},$$

$$y_0 = \frac{\sum(S_{p,i} \cdot y_i)}{\sum S_{p,i}} = \frac{238307,7}{3441,3} = 69,2 \text{ мм}.$$

Построение зоны рассеяния ЦЭН.

Параметры нормального закона распределения

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n S_{xi} \cdot (x_i - x_0)^2 = 1766,1, \quad \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n S_{yi} \cdot (y_i - y_0)^2 = 913,5,$$

$$h_x = \frac{1}{\sqrt{\sigma_x} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1769,9} \cdot \sqrt{2}} = 0,0168,$$

$$h_y = \frac{1}{\sqrt{\sigma_y} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{885,1} \cdot \sqrt{2}} = 0,0234,$$

Полуоси эллипса рассеяния

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0168} = 102,9 \text{ мм}, \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0234} = 74,0 \text{ мм}.$$

Картограмма нагрузок приведена на рисунке 2.2.

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

Таблица 2.4 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

Наименование цеха	S_{pi} , кВА	$S_{p.o.i}$, кВА	r , мм	α , град	x_i , мм	y_i , мм	$S_{pi} \cdot x_i$, кВА·мм	$S_{pi} \cdot y_i$, кВА·мм	$\frac{S_{pi}}{\sum_{i=1}^n S_{pi}}$	σ_x^2	σ_y^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Потребители электроэнергии до 1000 В											
1 Литейный цех	226,4	41,0	8,9	65,1	84,0	26,6	19017,2	6022,1	0,066	24,407	119,669
2 Механический цех	518,2	75,4	13,5	52,4	150,1	60,6	77778,1	31401,4	0,151	330,344	11,266
3 Инструментальный цех	269,2	75,4	9,8	100,8	150,1	47,0	40414,4	12654,7	0,078	171,650	38,733
4 Штамповочный цех	286,7	75,4	10,1	94,7	150,1	33,1	43032,9	9489,6	0,083	182,772	108,871
5 Деревообрабатывающий цех	481,1	83,0	13,0	62,1	63,6	114,1	30595,1	54888,4	0,140	219,892	281,193
6 Сборочный цех	383,5	236,9	11,6	222,4	150,6	118,1	57760,6	45295,7	0,111	249,758	265,963
7 Кузнечный цех	297,1	58,8	10,3	71,3	91,3	80,0	27124,3	23767,2	0,086	12,352	9,977
8 Экспериментальный цех	178,2	40,0	7,9	80,9	29,0	35,1	5167,4	6254,4	0,052	285,549	60,385
9 Компрессорная	113,7	34,6	6,3	109,5	68,0	60,6	7730,6	6889,3	0,233	289,369	17,413
10 Насосная	650,6	52,4	15,2	29,0	201,0	92,1	130769,9	59920,0	0,189	1806,031	98,713
11 Лаборатория	157,7	74,4	7,5	169,7	63,0	136,1	9935,8	21464,5	0,046	74,288	204,809
12 Ремонтно-механический цех	154,3	32,2	7,4	75,0	29,4	58,7	4535,8	9056,2	0,045	244,580	4,990
13 Заводуправление	100,3	67,3	6,0	241,7	156,8	149,8	15720,1	15018,3	0,029	83,508	189,027
Потребители электроэнергии выше 1000 В											
2 Насосная	687,2	–	15,6	–	68,0	60,6	46730,3	41645,0	–	–	–
Итого	3441,3	–	–	–	–	–	355350,9	238307,7	–	1766,1	913,5

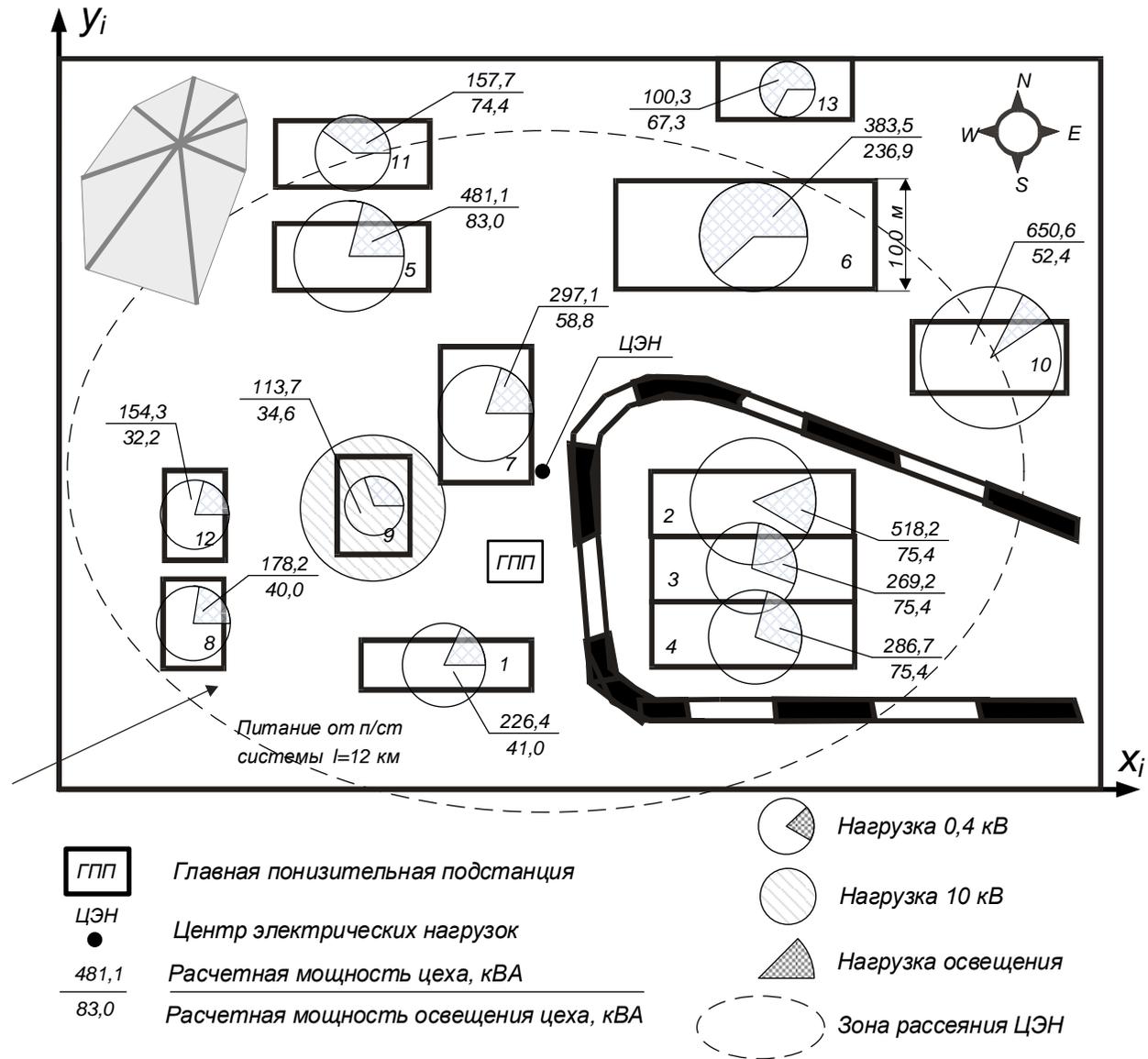


Рисунок 2.2 – Картограмма нагрузок

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]

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{ц,\Sigma}} = \frac{3905,9}{136001,2} = 0,029 \text{ кВА/м}^2,$$

принимаем $S_{\text{НОМ.Т}} = 400 \text{ кВА}$.

Минимальное число цеховых трансформаторов

$$N_{\text{т.о}} = \frac{\Sigma(P_p^H + P_{\text{р.о}})}{\beta_{\text{т}} \cdot S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{3055,2}{0,7 \cdot 400} = 10,91 \text{ шт.},$$

принимаем $N_{\text{т}} = 11 \text{ шт.}$

Активная нагрузка на один трансформатор

$$P_1 = \frac{\Sigma(P_p^H + P_{\text{р.о}})}{N_{\text{т}}} = \frac{3055,2}{11} = 277,7 \text{ кВт.}$$

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

$$N_{\text{т.и}} = \frac{P_{\text{р.и}}}{P_1} = \frac{176,9}{277,7} = 0,637 \text{ шт.}$$

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 2.5.

Таблица 2.5 – Число трансформаторов в цехах предприятия

Наименования цехов	Категория	$P_{p.i}$, кВт	Количество тр-ов N_i , шт
1 Литейный цех	II	176,9	0,637
2 Механический цех	III	337,9	1,216
3 Инструментальный цех	III	187,9	0,676
4 Штамповочный цех	II	227,9	0,820
5 Деревообрабатывающий цех	III	423,5	1,525
6 Сборочный цех	II	325,7	1,173
7 Кузнечный цех	II	232,9	0,839
8 Экспериментальный цех	III	134,0	0,483
9 Компрессорная	II	91,1	0,328
10 Насосная	II	497,1	1,790
11 Лаборатория	III	126,9	0,457
12 Ремонтно-механический цех	III	103,9	0,374
13 Заводуправление	III	84,6	0,305

Для более оптимального распределения трансформаторов по территории предприятия примем трансформаторы разной мощности. Параметры принятых трансформаторов приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Данные по трансформаторам [9, стр. 157, табл. 7.3]

Тип	$S_{ном}$, МВА	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	$P_{хх}$, кВт	$Q_{хх}$, кВАр	$P_{кз}$, кВт	$Q_{кз}$, кВАр	U_k , %	$I_{хх}$, %
ТМ-400/10	0,40	10,0	0,4	1,20	8,4	5,5	22,0	5,5	2,10
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

$$\beta_T = \frac{P_{p.ТП1}}{N_{T.ТП1} \cdot S_{ном.т}} = \frac{550,4}{2 \cdot 400} = 0,688 \text{ шт,}$$

коэффициент загрузки соответствует норме для двухтрансформаторной подстанции.

Пример расчета коэффициента загрузки по полной мощности для ТП1

$$\beta_T = \frac{S_{p.ТП1}}{N_{T.ТП1} \cdot S_{ном.т}} = \frac{638,8}{2 \cdot 400} = 0,798 \text{ шт,}$$

коэффициент загрузки не соответствует норме для двухтрансформаторной подстанции.

Результаты группирования нагрузок и расчета коэффициентов загрузки трансформаторов сведены в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

№ ТП	N _т , шт	S _{ном.т} , кВА	Потреб-ли энергии (номер по генплану)	Место расположения на генплане	P _{р.ТП} , кВт	Загрузка тр-ров по активной мощности	S _{р.ТП} , кВА	Загрузка тр-ров по полной мощности	Q _{р.ТП} , кВАр
ТП1	2	400	5, 11	Цех №5	550,4	0,688	638,8	0,798	321,8
ТП2	2	400	6, 13	Цех №6	410,3	0,513	483,8	0,605	256,3
ТП3	2	400	10	Цех №10	497,1	0,621	650,6	0,813	419,7
ТП4	1	400	8, 12	Цех №8	238,0	0,595	332,5	0,831	231,4
ТП5	2	400	1, 7, 9	Цех №9	500,9	0,626	637,2	0,796	393,7
ТП6	2	630	2, 3, 4	Цех №3	753,6	0,598	1074,1	0,852	759,7

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

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = \frac{Q_{\text{ТП1}}}{P_{\text{ТП1}}} = \frac{321,8}{550,4} = 0,58.$$

Расчетная мощность конденсаторных установок

$$Q_{\text{КУ. расч}} = P_{\text{ТП1}} \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{факт}} - \varphi_{\text{треб}}) = 550,4 \cdot (0,58 - 0,81) = -124,4 \text{ кВАр.}$$

Принимаем к установке две УКРМ типа УКМ 58-0,4-112,5 У3 [12].

Полная реактивная мощность, генерируемая УКРМ

$$Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{КУ.ном}} \cdot n_{\text{КУ}} = 112,5 \cdot 2 = 225,0 \text{ кВАр.}$$

Полная мощность ТП1 с учетом мощности УКРМ

$$S_{\text{ТП1}} = \sqrt{P_{\text{ТП1}}^2 + (Q_{\text{ТП1}} - Q_{\text{КУ}})^2} = \sqrt{550,4^2 + (321,8 - 225,0)^2} = 558,8 \text{ кВА.}$$

Коэффициент загрузки ТП1 с учетом компенсации реактивной мощности

$$\beta_{\text{з.ТП1}} = \frac{S_{\text{р.ТП1}}}{N_{\text{т.ТП1}} \cdot S_{\text{ном.т}}} = \frac{558,8}{2 \cdot 400} = 0,699,$$

коэффициент загрузки соответствует норме.

Результирующий коэффициент мощности ТП1

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{рез}} = \frac{Q_{\text{ТП1}} - Q_{\text{КУ}}}{P_{\text{ТП1}}} = \frac{321,8 - 225,0}{550,4} = 0,18, \quad \cos\varphi_{\text{рез}} = 0,98,$$

коэффициент мощности соответствует норме.

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Расчет компенсации реактивной мощности

№ ТП	Начальные параметры						Результирующие параметры					
	$N_{\text{т}}$, шт	$P_{\text{р.ТП}}$, кВт	$Q_{\text{р.ТП}}$, кВАр	$\cos\varphi_{\text{треб}}$	$\operatorname{tg}\varphi_{\text{треб}}$	$\operatorname{tg}\varphi_{\text{факт}}$	$Q_{\text{КУ.расч}}$, кВАр	$Q_{\text{КУ.ном}}$, кВАр	$n_{\text{КУ}}$, шт	$S_{\text{ТП}}$, кВА	K_3	$\cos\varphi_{\text{рез}}$
ТП1	2	550,4	321,8	0,78	0,81	0,58	-124,4	112,5	2	558,8	0,699	0,98
ТП2	2	410,3	256,3	0,75	0,88	0,62	-105,5	0,0	0	483,8	0,605	0,85
ТП3	2	497,1	419,7	0,75	0,88	0,84	-18,7	90,0	2	551,9	0,690	0,90
ТП4	1	238,0	231,4	0,70	1,02	0,97	-11,3	0,0	0	331,9	0,830	0,72
ТП5	2	500,9	393,7	0,75	0,88	0,79	-48,1	75,0	2	557,1	0,696	0,90
ТП6	2	753,6	759,7	0,75	0,88	1,01	95,1	160,0	2	872,5	0,692	0,86

Суммарная мощность компенсирующих устройств по таблице 2.7

$$Q_{\text{КУ.}\Sigma}^{\text{Б}} = \sum (Q_{\text{КУ.ном}} \cdot n_{\text{КУ}}) = 875,0 \text{ кВАр.}$$

Схема распределения реактивной мощности приведена на рисунке 2.3.

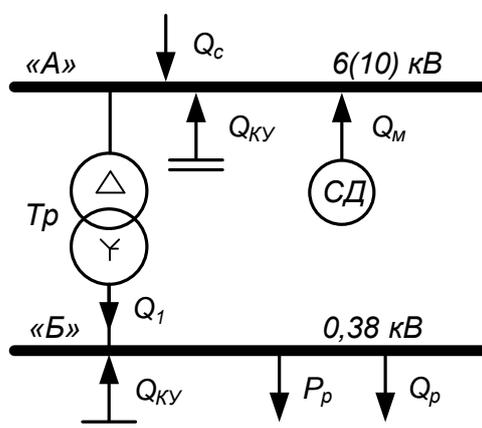


Рисунок 2.3 – Схема распределения реактивной мощности

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

- номинальная напряжение двигателя $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$;
- номинальная активная мощность $P_{\text{СД}} = 630 \text{ кВт}$;

- номинальная реактивная мощность $Q_{сд} = 320$ кВАр;
- КПД $\eta = 95,53$ %;
- число двигателей $n_{сд} = 2$.

Коэффициент загрузки синхронных двигателей по активной мощности

$$\beta_{сд} = \frac{P_{синх}}{P_{сд} \cdot n_{сд}} = \frac{110,0}{630 \cdot 2} = 0,87,$$

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

Напряжение на зажимах синхронного двигателя

$$U_{сд} = \frac{U_{НОМ}^{сн}}{U_{НОМ}} = \frac{10,0}{10,0} = 1,0.$$

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

$$\alpha_m = 1,23.$$

Суммарная располагаемая реактивная мощность двигателей

$$Q_m = \frac{n_{сд} \cdot \alpha_m \cdot Q_{сд}}{\eta} = \frac{2 \cdot 1,23 \cdot 320}{95,53} \cdot 100 = 824,0 \text{ кВАр.}$$

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

$$Q_1 = \sqrt{(N_T \cdot \beta \cdot S_{НОМ.Т})^2 - \left(\sum (P_p^H + P_{p.o})\right)^2} = \\ = \sqrt{(9 \cdot 0,7 \cdot 400 + 2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3055,2^2} = 1496,5 \text{ кВАр.}$$

Мощность конденсаторных установок на напряжении выше 1000 В

$$Q_{КУ.расч} = Q_1 - Q_c - Q_m = 1496,5 - 903,4 - 824,0 = -230,9 \text{ кВАр.}$$

Компенсация со стороны напряжения выше 1000 В не требуется

$$Q_{КУ}^{А"} = 0 \text{ кВАр.}$$

Требуемая мощность конденсаторных установок на напряжении д1000 о В

$$Q_{КУ.треб} = \sum (Q_p^H + Q_{p.o}) - Q_1 = 2433,5 - 1496,5 = 936,9 \text{ кВАр.}$$

Мощность конденсаторных установок на напряжении д1000 о В с учетом ранее выбранных УКРМ для уменьшения загрузки трансформаторов по полной мощности

$$Q_{\text{КУ. расч}} = Q_{\text{треб}} - Q_{\text{КУ.}\Sigma} = 936,9 - 875,0 = 61,9 \text{ кВАр.}$$

Принимаем к установке в узле "Б" комплектные конденсаторные установки типа УКМ 58-0,4-32,4 УЗ [12].

Реактивная мощность, генерируемая одной комплектной конденсаторной установкой

$$Q = \left(\frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ.КУ}}} \right)^2 \cdot Q_{\text{НОМ.КУ}} = \left(\frac{0,40}{0,40} \right)^2 \cdot 32,4 = 32,4 \text{ кВАр.}$$

Необходимое количество комплектных конденсаторных установок для установки в узле "Б"

$$n_{\text{КУ.расч}} = \frac{Q_{\text{КУ. расч}}}{Q} = \frac{61,9}{32,4} = 1,9 \text{ шт,}$$

принимаем $n_{\text{КУ}} = 2$ шт.

Полная реактивная мощность, генерируемая комплектными конденсаторными установками в узле "Б"

$$Q_{\text{КУ}}^{\text{"Б"}} = Q \cdot n_{\text{КУ}} + Q_{\text{КУ.}\Sigma}^{\text{Б}} = 32,4 \cdot 2 + 875,0 = 939,8 \text{ кВАр.}$$

Суммарная генерируемая мощность компенсирующих устройств

$$Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{КУ}}^{\text{"А"}} + Q_{\text{КУ}}^{\text{"Б"}} = 824,0 + 0 + 939,8 = 1763,8 \text{ кВАр.}$$

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

$$\begin{aligned} S_{\text{р.ГПП}} &= \sqrt{P_{\text{р}}^2 + (Q_{\text{р}} - Q_{\text{КУ}})^2} = \sqrt{3764,3^2 + (3598,3 - 1763,8)^2} = \\ &= \sqrt{3764,3^2 + 1834,5^2} = 4187,5 \text{ кВА.} \end{aligned}$$

На рисунке 2.4 приведен план предприятия с предварительным размещением трансформаторных подстанций, ГПП, РП, РУвн и трасс линий электропередачи.

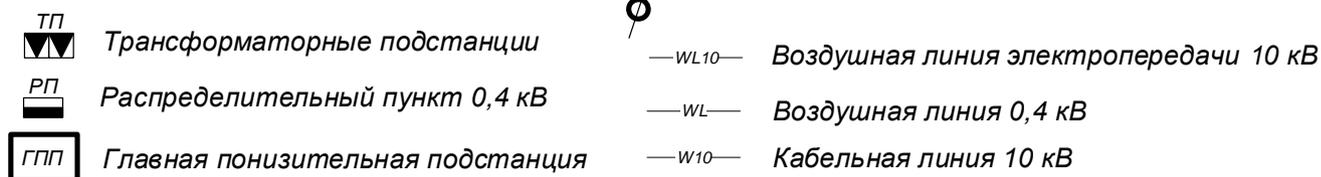
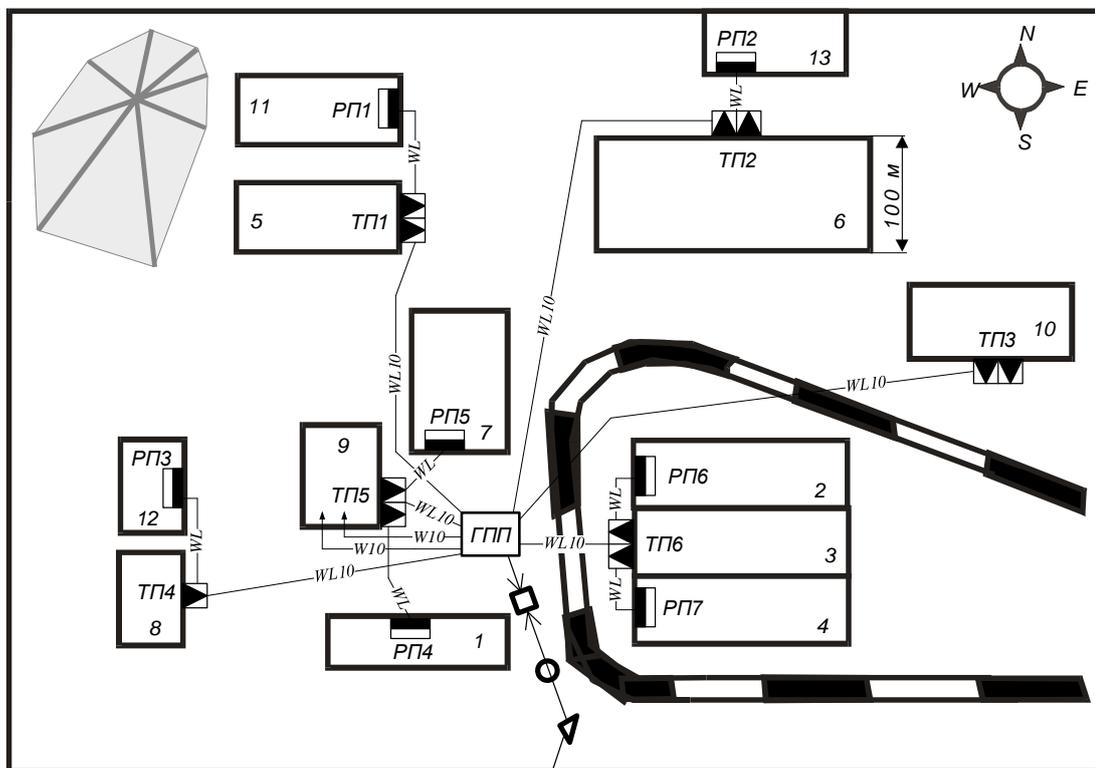


Рисунок 2.4 – План предприятия с предварительным расположением объектов электроснабжения

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 самонесущим изолированным проводом марки СИП-3 с прокладкой на железобетонных опорах. Питание высоковольтных двигателей осуществляем кабельными линиями с алюминиевыми жилами марки АПвВнг, проложенными в траншее.

Упрощенная схема питания цеховых трансформаторных подстанций приведена на рисунке 2.5.

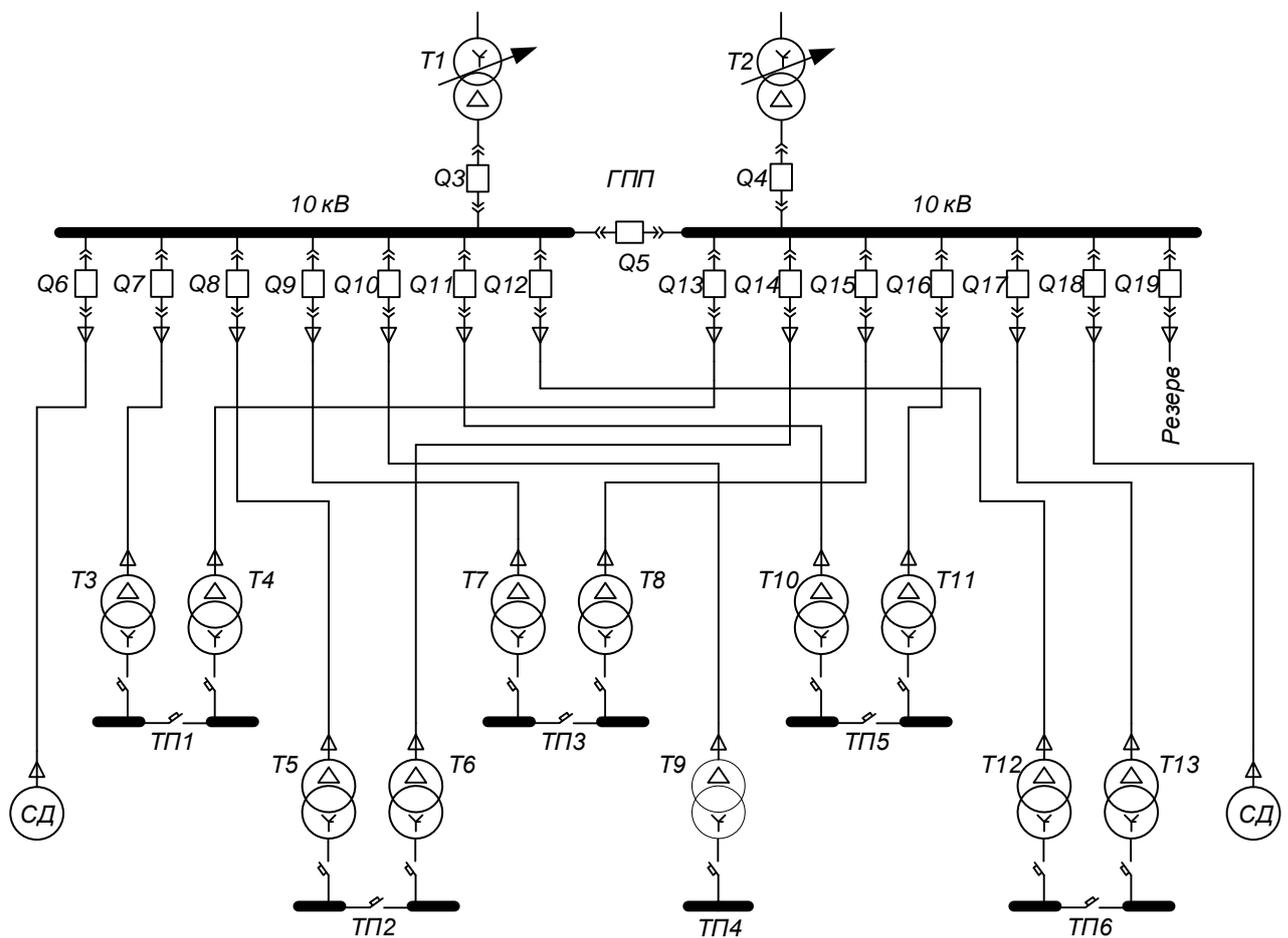


Рисунок 2.5 – Упрощенная схема питания цеховых подстанций и высоковольтных электроприёмников

Примеры расчета

Участок ГПП – ТП1

Потери мощности в трансформаторах

$$\Delta P_T = n_T \cdot (\Delta P_{XX} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{K3}) = 2 \cdot (1,20 + 0,697^2 \cdot 5,5) = 7,7 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{XX} + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_{K3}) = 2 \cdot (8,40 + 0,697^2 \cdot 22,0) = 38,2 \text{ кВар},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{7,7^2 + 38,2^2} = 38,9 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_T \cdot S_{\text{ном.Т}} + \Delta S_T}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 400 + 38,9}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 24,2 \text{ А},$$

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

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{n_T \cdot S_{\text{НОМ.Т}} + \Delta S_T}{(n_{\text{ц}} - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2 \cdot 400 + 38,9}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 48,4 \text{ А.}$$

Экономическое сечение

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{24,2}{1,2} = 20,2 \text{ мм}^2,$$

где $j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока [16, табл. 1.3.36], А/мм².

Намечаем СИП-3 ближайшего стандартного сечения с параметрами [13] $S = 35 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{доп}} = 160 \text{ А}$.

Фактическая длина воздушной линии

$$L_{\text{факт}} = 1,03 \cdot L = 1,03 \cdot 0,268 = 0,276 \text{ км},$$

где L – длина линии по генплану, км;

1,03 – 3% запас длины провода на стрелу провеса.

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

$$I_{\text{доп}} = 160 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 24,2 \text{ А},$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 160 = 208,0 \text{ А} > I_{\text{расч.п/ав}} = 48,4 \text{ А}.$$

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

$$\cos \varphi = 0,88, \quad \sin \varphi = 0,48,$$

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

$$\Delta U_{\text{НОМ, \%}} = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\% = \frac{9,283}{10000} \cdot 100\% = 0,093\% < 5\%.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Участок ГПП-Высоковольтный двигатель

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{550}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,80} = 39,7 \text{ А},$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность двигателя, кВт.

Экономическое сечение

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{39,7}{1,2} = 33,1 \text{ мм}^2.$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки АПВВнг с параметрами [20] $S = 50/16 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{доп}} = 195 \text{ А}$.

Фактическая длина кабельной линии

$$\begin{aligned} L_{\text{факт}} &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = \\ &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + 0,022) = 0,033 \text{ км}, \end{aligned}$$

где L – длина линии по генплану, км;

1,04 – 4% запас длины кабеля на непрямолинейную прокладку;

1,02 – 2% запас длины кабеля на разделку;

0,005 – запас длины кабеля на выход из ТП и на ввод в цех, км.

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,9 \cdot 195 = 175,5 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 39,7 \text{ А},$$

где $K_{\text{пр}}$ – коэффициент прокладки [6].

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

$$\cos \varphi = 0,80, \quad \sin \varphi = 0,604,$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left(\frac{r_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= 3 \cdot 39,7 \cdot 0,033 \cdot (0,641 \cdot 0,80 + 0,184 \cdot 0,60) = 2,483 \text{ В}, \\ \Delta U_{\text{ном, \%}} &= \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{2,483}{10000} \cdot 100\% = 0,025\% < 5\%. \end{aligned}$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Дальнейшие расчеты сводим в таблицы 2.9 и 2.10.

Таблица 2.9 – Выбор сечений проводников сети выше 1000 В

Участок	Мощность участка, кВА	ΔS_T , кВА	$U_{ном}$, кВ	$L_{факт}$, км	$n_{ц}$, шт	Расчетная нагрузка		$S_{э}$, мм ²	Марка и сечение	$K_{пр}$	Допустимая нагрузка	
						$I_{расч}$, А	$I_{расч.ав}$, А				$I'_{доп}$, А	$1,3 \cdot I'_{доп}$, А
ГПП–ТП1	800,0	38,9	10	0,276	2	24,2	48,4	20,2	СИП-3-6(1 × 35)	1,00	160,0	208,0
ГПП–ТП2	800,0	33,5	10	0,481	2	24,1	48,1	20,1	СИП-3-6(1 × 35)	1,00	160,0	208,0
ГПП–ТП3	800,0	38,5	10	0,456	2	24,2	48,4	20,2	СИП-3-6(1 × 35)	1,00	160,0	208,0
ГПП–ТП4	400,0	24,1	10	0,114	1	24,5	–	20,4	СИП-3-3(1 × 35)	1,00	160,0	–
ГПП–ТП5	800,0	38,9	10	0,055	2	24,2	48,4	20,2	СИП-3-6(1 × 35)	1,00	160,0	208,0
ГПП–ТП6	1260,0	59,5	10	0,081	2	38,1	76,2	31,7	СИП-3-6(1 × 35)	1,00	160,0	208,0
РУ1 – СД	687,2	–	10	0,033	1	39,7	–	33,1	АПВВнг-1(3 × 50/16)	0,90	175,5	–

Таблица 2.10 – Определение потерь напряжения во внутризаводской 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	СИП-3-6(1 × 35)	0,276	24,2	2	0,890	0,305	0,88	0,48	0,093
ГПП–ТП2	10	СИП-3-6(1 × 35)	0,481	24,1	2	0,890	0,305	0,85	0,53	0,159
ГПП–ТП3	10	СИП-3-6(1 × 35)	0,456	24,2	2	0,890	0,305	0,90	0,43	0,155
ГПП–ТП4	10	СИП-3-3(1 × 35)	0,114	24,5	1	0,890	0,305	0,72	0,70	0,071
ГПП–ТП5	10	СИП-3-6(1 × 35)	0,055	24,2	2	0,890	0,305	0,90	0,44	0,019
ГПП–ТП6	10	СИП-3-6(1 × 35)	0,081	38,1	2	0,890	0,305	0,86	0,50	0,043
ГПП – СД	10	АПВВнг-1(3 × 50/16)	0,033	39,7	1	0,641	0,184	0,80	0,60	0,025

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

$$S_{T,расч} = \frac{S_{p,ГПП}}{n_T \cdot \beta_T} = \frac{4187,5}{2 \cdot 0,7} = 2991,1 \text{ кВА},$$

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

β_T – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП;

n_T – число трансформаторов на ГПП.

Полученное значение $S_{T,расч}$ округляется до ближайшего большего стандартного значения. Исходя из расчета, принимаем к установке на главной понизительной подстанции двухобмоточные трансформаторы марки ТМН-4000/35 с номинальной мощностью $S_T = 4000$ кВА.

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

$$S_{p,ГПП} = 4187,5 \text{ кВА} < 1,4 \cdot S_{ном,Т} = 1,4 \cdot 4000 = 5600 \text{ кВА}.$$

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

Таблица 2.11 – Параметры трансформаторов [15]

Тип	S _{ном} , МВА	U _{вн} , кВ	U _{нн} , кВ	P _{хх} , кВт	Q _{хх} , кВАр	P _{кз} , кВт	Q _{кз} , кВАр	U _к , %	I _{хх} , %
ТМН-4000/35	4,0	35,0	11,0	6,7	40,0	33,5	300,0	7,5	1,00

Выбор сечения провода проводится по экономической плотности тока.

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{4187,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 34,5 \text{ А.}$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{4187,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 69,1 \text{ А.}$$

Экономическое сечение

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{34,5}{1} = 34,5 \text{ мм}^2,$$

где $j_{\text{э}}$ – нормированное значение экономической плотности тока с учетом числа часов использования максимальной нагрузки [16, табл. 1.3.36], А/мм².

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 мм². Таким образом, проверка выполняется.

– Проверка по допустимой потере напряжения

$$L_{\text{доп}} = L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{расч}}} = 2,05 \cdot 5 \cdot \frac{390}{38,1} = 104,8 \text{ км} > L_{\text{факт}} = 12,0 \text{ км,}$$

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

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

Принимаем базисные величины

$$S_6 = 100 \text{ МВА}, \quad U_{\text{ср.ном1}} = 37,0 \text{ кВ}, \quad U_{\text{ср.ном2}} = 10,5 \text{ кВ},$$

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном1}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37,0} = 1,560 \text{ кА},$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном2}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА}.$$

Параметры схемы замещения

Система

$$S_c = \infty, \quad X_c = X_1 = \frac{S_6}{S_c} = 0.$$

Воздушная линия

$$R_2 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном1}}^2} = 0,244 \cdot 12,0 \cdot \frac{100}{1 \cdot 37,0^2} = 0,214,$$

$$X_2 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном1}}^2} = 0,414 \cdot 12,0 \cdot \frac{100}{1 \cdot 37,0^2} = 0,363.$$

Трансформаторы

$$X_3 = \frac{U_{\text{к, \%}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{4,0} = 1,875.$$

СИП-3, питающий подстанцию

$$R_4 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,890 \cdot 0,276 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,223,$$

$$X_4 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,305 \cdot 0,276 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,076.$$

Кабельная линия, питающая высоковольтный двигатель

$$R'_5 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,641 \cdot 0,033 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,019,$$

$$X'_5 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,181 \cdot 0,033 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,006.$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$R_5 = \frac{R'_5}{n_{\text{д}}} = \frac{0,019}{2} = 0,010, \quad X_5 = \frac{X'_5}{n_{\text{д}}} = \frac{0,006}{2} = 0,003,$$

Высоковольтный двигатель

сопротивление одного двигателя

$$X'_6 = \frac{x''_d \cdot S_6}{S_{ном}} = \frac{0,189 \cdot 100}{0,687} = 27,502,$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$X_6 = \frac{X'_6}{n_d} = \frac{27,502}{2} = 13,751.$$

а) Точка К1

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К1

$$R_C = R_2 = 0,214, \quad X_C = X_1 + X_2 = 0 + 0,363 = 0,363.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К1

$$R_D = R_5 = 0,010, \quad X_D = X_3 + X_5 + X_6 = 1,875 + 0,003 + 13,751 = 15,629.$$

Результирующее сопротивление в точке К1

$$R_{рез1} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,214 \cdot 0,010}{0,214 + 0,010} = 0,009,$$

$$X_{рез1} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{0,363 \cdot 15,629}{0,363 + 15,629} = 0,355,$$

$$Z_{рез1} = \sqrt{R_{рез1}^2 + X_{рез1}^2} = \sqrt{0,009^2 + 0,355^2} = 0,355.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К1

$$I_{к1} = \frac{I_{б1}}{Z_{рез1}} = \frac{1,560}{0,355} = 4,4 \text{ кА}.$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a1} = \frac{X_{рез1}}{\omega \cdot R_{рез1}} = \frac{0,355}{314 \cdot 0,009} = 0,1214 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд1} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,1214} = 1,921.$$

Ударный ток КЗ в точке К1

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{к1} = \sqrt{2} \cdot 1,921 \cdot 4,4 = 11,9 \text{ кА}.$$

б) Точка К2

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К2

$$R_C = R_2 = 0,214, \quad X_C = X_1 + X_2 + X_3 = 0 + 0,363 + 1,875 = 2,238.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К2

$$R_D = R_5 = 0,010, \quad X_D = X_5 + X_6 = 0,003 + 13,751 = 13,754.$$

Результирующее сопротивление в точке К2

$$R_{рез2} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,214 \cdot 0,010}{0,214 + 0,010} = 0,009,$$

$$X_{рез2} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{2,238 \cdot 13,754}{2,238 + 13,754} = 1,925,$$

$$Z_{рез2} = \sqrt{R_{рез2}^2 + X_{рез2}^2} = \sqrt{0,009^2 + 1,925^2} = 1,925.$$

Действующее значение тока К3 в точке К2

$$I_{к2} = \frac{I_{б2}}{Z_{рез2}} = \frac{5,499}{1,925} = 2,9 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока К3

$$T_{a2} = \frac{X_{рез2}}{\omega \cdot R_{рез2}} = \frac{1,925}{314 \cdot 0,009} = 0,6586 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд2} = 1 + e^{-0,01/T_{a2}} = 1 + e^{-0,01/0,6586} = 1,985.$$

Ударный ток К3 в точке К2

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2} \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,985 \cdot 2,9 = 8,0 \text{ кА.}$$

в) Точка К3

Сопротивление от источника до точки К3

$$R_{рез3} = R_{рез2} + R_4 = 0,009 + 0,223 = 0,232,$$

$$X_{рез3} = X_{рез2} + X_4 = 1,925 + 0,076 = 2,001,$$

$$Z_{рез3} = \sqrt{R_{рез3}^2 + X_{рез3}^2} = \sqrt{0,232^2 + 2,001^2} = 2,014.$$

Действующее значение тока К3 в точке К3

$$I_{к3} = \frac{I_{б2}}{Z_{рез3}} = \frac{5,499}{2,014} = 2,7 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a3} = \frac{X_{рез3}}{\omega \cdot R_{рез3}} = \frac{2,001}{314 \cdot 0,232} = 0,0275 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд3} = 1 + e^{-0,01/T_{a3}} = 1 + e^{-0,01/0,0275} = 1,695.$$

Ударный ток КЗ в точке КЗ

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot k_{уд3} \cdot I_{к3} = \sqrt{2} \cdot 1,695 \cdot 2,7 = 6,5 \text{ кА.}$$

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

а) Проверка СИП-3

Тепловой импульс тока короткого замыкания

$$W_k = I_{к2}^2 \cdot (\tau + T_{a2}) = 2856,8^2 \cdot (0,07 + 0,6586) = 5946630,5 \text{ А}^2 \cdot \text{сек},$$

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

Термически стойкое сечение равно

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{W_k}}{C_T} = \frac{\sqrt{5946630,5}}{90} = 27,1 \text{ мм}^2 < S_{\text{факт}} = 35 \text{ мм}^2,$$

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, мм^2 .

Предварительно выбранное сечение по термической стойкости проходит.

б) Проверка кабеля АПвВнг

Тепловой импульс тока короткого замыкания

$$W_k = I_{к2}^2 \cdot (\tau + T_{a2}) = 2856,8^2 \cdot (0,07 + 0,6586) = 5946630,5 \text{ А}^2 \cdot \text{сек},$$

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

Термически стойкое сечение равно

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

Предварительно выбранное сечение по термической стойкости проходит.

Проверка медного экрана кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена

Так как продолжительность короткого замыкания отличается от 1 с, то необходимо определить поправочный коэффициент

$$K = \frac{1}{\sqrt{t}} = \frac{1}{\sqrt{(\tau + T_{a2})}} = \frac{1}{\sqrt{(0,07 + 0,6586)}} = 1,17 \text{ с,}$$

где t – продолжительность короткого замыкания, с.

Допустимый ток медного экрана

$$I_{к.э} = k \cdot S_{м.э} \cdot K = 0,191 \cdot 16 \cdot 1,17 = 3,6 \text{ кА,}$$

где k – коэффициент, равный 0,191 кА/мм² [21], с;

$S_{м.э}$ – номинальное сечение медного экрана, мм².

Двухфазное короткое замыкание

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к}^{(3)} = 0,87 \cdot I_{к}^{(3)} = 0,87 \cdot 2,9 = 2,5 \text{ кА} < I_{к.э} = 3,6 \text{ кА.}$$

Условие выполняется.

Расчет токов КЗ по остальным участкам сведем в таблицу 2.12.

Таблица 2.12 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	$U_{ср.ном}$, кВ	I_6 , кА	$R_{рез}$	$X_{рез}$	$Z_{рез}$	$I_{к}$, кА	T_a , с	$k_{уд}$	$i_{уд}$, кА	$B_{к}$, А ² ·с	S_{min} , мм ²
К1	37,0	1,560	0,009	0,355	0,355	4,4	0,1214	1,921	11,9	–	–
К2	10,5	5,499	0,009	1,925	1,925	2,9	0,6586	1,985	8,0	5946630,5	27,1
К3	10,5	5,499	0,232	2,001	2,014	2,7	0,0275	1,695	6,5	–	–

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 провод марки СИП-2 с прокладкой на опорах и по стенам зданий. Питание осуществляем по радиальным линиям.

Пример расчета проводника, питающего РП1

Мощность нагрузки РП

$$P_p = 126,9 \text{ кВт}, \quad Q_p = 93,6 \text{ кВАр}, \quad S_p = 157,7 \text{ кВА}.$$

Расчётный ток РП

$$I_p = \frac{S_p}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{157,7}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,38} = 239,6 \text{ А}.$$

Намечаем провод марки СИП-2-1(3×70 + 1×95) с $I_{\text{доп}} = 240 \text{ А}$ [19].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 240 \text{ А} > I_p = 239,6 \text{ А}.$$

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,185 \cdot 239,6 \cdot 0,091 = 4,0\% < 5\%,$$

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

5% – допустимое значение потерь напряжения;

ΔU_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 2.13.

Таблица 2.13 – Выбор и проверка проводников 0,4 кВ

Участок	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	$\cos\varphi$	I_p , А	Марка и сечение проводника	$I_{\text{доп}}$, А	ΔU_0 , %/(А·км)	l , км	ΔU , %
ТП1 - РП1	126,9	93,6	157,7	0,80	239,6	СИП-2-1(3×70 + 1×95)	240	0,185	0,091	4,0
ТП2 - РП2	84,6	53,8	100,3	0,84	152,3	СИП-2-1(3×35 + 1×50)	160	0,480	0,044	3,2
ТП4 - РП3	103,9	114,0	154,3	0,67	234,4	СИП-2-1(3×70 + 1×95)	240	0,735	0,091	15,7
ТП5 - РП4	176,9	141,3	226,4	0,78	172,0	СИП-2-2(3×50 + 1×70)	195	0,065	0,089	1,0
ТП5 - РП5	232,9	184,4	297,1	0,78	225,7	СИП-2-2(3×70 + 1×95)	240	0,089	0,051	1,0
ТП6 - РП6	337,9	392,9	518,2	0,65	196,8	СИП-2-4(3×70 + 1×95)	240	0,161	0,055	1,8
ТП6 - РП7	227,9	174,0	286,7	0,79	217,8	СИП-2-2(3×70 + 1×95)	240	0,409	0,055	4,9

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 Т1, 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. Причем сначала включается перемычка, а затем отключаются цепи трансформатора. Схема представлена на рисунке 3.1.

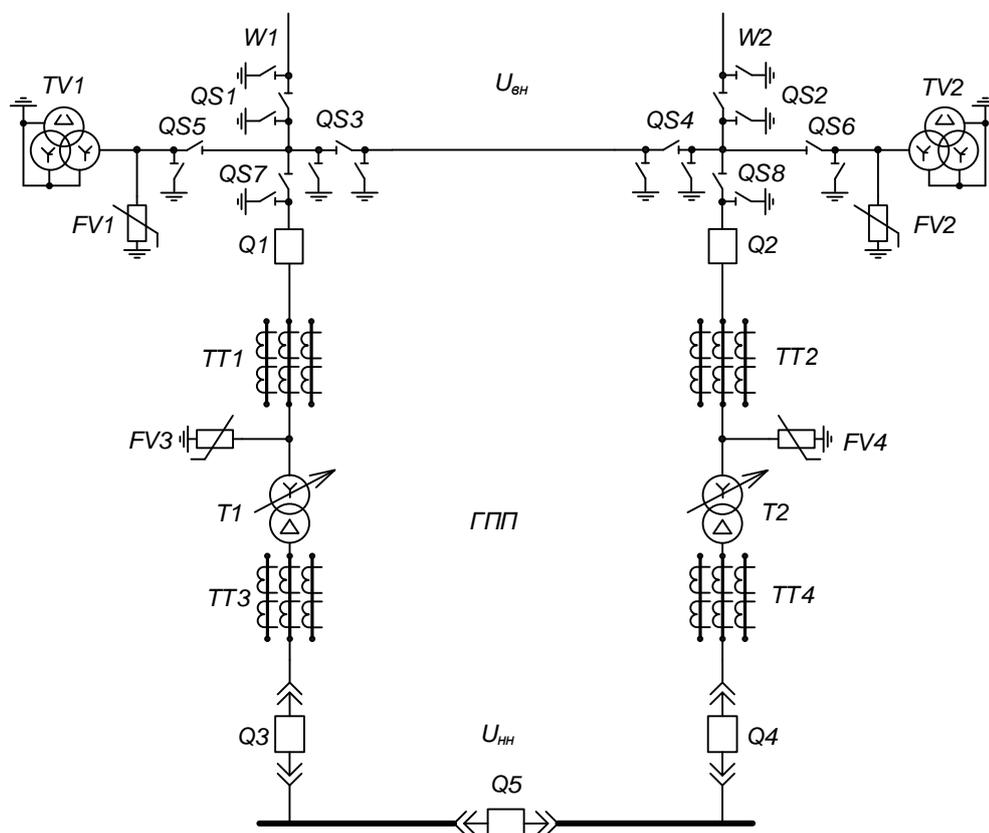


Рисунок 3.1 – Схема внешнего электроснабжения

Электроснабжение потребителей первой и второй категории осуществляется с помощью двухтрансформаторной подстанции. При использовании двух трансформаторов коэффициент загрузки не должен превышать 0,7, что объясняется возможностью сохранения работоспособности электроустановки при выходе из строя одного из трансформаторов. Работа исправного трансформатора допускается с загрузкой 1,4, но не более 5 дней подряд по 6 часов.

В пункте 2.6 была определена расчетная мощность трансформаторов ГПП с учетом определенной мощности компенсирующих устройств. К установке на главной понизительной подстанции приняты два двухобмоточных трансформатора марки ТМН-4000/35.

Электроснабжение ГПП осуществляется по двухцепной воздушной линии электропередач, проложенной на стальных опорах сталеалюминевыми проводами марки АС.

В пункте 2.6 было выбрано сечение воздушной линии электропередачи методом экономической плотности тока. Так же были проведены необходимые проверки – проверка на перегрузочную способность, по допустимой потере 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 $U_{ном}$, кВ	35	10
3	Номинальный ток $I_{ном}$, А	630	630
4	Номинальный ток отключения $I_{отк.ном}$, кА	25	20
5	Ток электродинамической стойкости $I_{дин}$, кА	25	20
6	Пик тока электродинамической стойкости $i_{дин}$, кА	63	51
7	Ток термической стойкости $I_{тер}$, кА	25,0	20,0
8	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{тер}$, с	3	3
9	Полное время отключения выключателя $t_{отк.в}$, с	0,06	0,05
10	Климатическое исполнение	ХЛ1	У3

Пример выбора выключателя 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 $I_{\max} \leq I_{\text{НОМ}}$

$$I_{\max} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{4187,5}{\sqrt{3} \cdot 35,0} = 69,1 \text{ А} < I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А};$$

– по отключающей способности $I_{\text{н,т}} \leq I_{\text{отк.НОМ}}$

$$I_{\text{н,т}} = 4,4 \text{ кА} < I_{\text{н,т}} = 25,0 \text{ кА};$$

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

$$I_{\text{н,0}} = 4,4 \text{ кА} < I_{\text{дин}} = 25,0 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = 11,9 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА};$$

– по термической стойкости $W_{\text{к}} \leq I_{2\text{тер}} \cdot t_{\text{тер}}$

$$W_{\text{к}} = I_{\text{п,0}}^2 \cdot (t_{\text{р.з.}} + t_{\text{отк.в}} + T_{\text{а}}) = 4,4^2 \cdot (1,2 + 0,06 + 0,121) = 26,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 25,0^2 \cdot 3 = 1875,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$W_{\text{к}} = 26,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 1875,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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 $U_{\text{НОМ}}$, кВ	35
3	Номинальный ток $I_{\text{НОМ}}$, А	1000
4	Амплитуда предельного сквозного тока $i_{\text{пр.с}}$, кА	63
5	Ток термической стойкости $I_{\text{тер}}$, кА	25,0
6	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{\text{тер}}$, с	4
7	Климатическое исполнение	УХЛ1

Пример выбора разъединителя 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 $I_{\max} \leq I_{\text{НОМ}}$

$$I_{\max} = 69,1 \text{ А} < I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А};$$

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

$$i_{\text{уд}} = 11,9 \text{ кА} < i_{\text{пр.с}} = 63 \text{ кА};$$

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

$$B_{\text{к}} = 26,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 25,0^2 \cdot 4 = 2500,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Разъединитель проходит по результатам проверок.

Оборудование выбираем однотипное, 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
$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 69,1 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$
$I_{\text{н.т}} = 4,4 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.НОМ}} = 25 \text{ кА}$	–
$I_{\text{н.0}} = 4,4 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 25 \text{ кА}$	–
$i_{\text{уд}} = 11,9 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 63 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 26,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Расчетные данные	Выключатель ВЭ-10-20/1250-У3	Разъединитель
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$	Используется выкатная тележка
$I_{\max} = 241,8 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$	
$I_{\text{н.т}} = 2,9 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.НОМ}} = 20 \text{ кА}$	
$I_{\text{н.0}} = 2,9 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 20 \text{ кА}$	
$i_{\text{уд}} = 8,0 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$	
$B_{\text{к}} = 9,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	

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	75	2000
4	Вторичный номинальный ток трансформатора тока I_2 , А	5	5
5	Ток электродинамической стойкости $i_{дин}$, кА	15	—
6	Ток термической стойкости $I_{тер}$, кА	3,5	—
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 $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{4187,5}{\sqrt{3} \cdot 35,0} = 69,1 \text{ А} < I_{ном} = 75 \text{ А};$$

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

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

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

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 ρ – удельное сопротивление алюминиевого провода [18, стр. 374], Ом/мм²;

$l_{\text{пр}}$ – 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

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

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

$$i_{\text{уд}} = 11,9 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 15 \text{ кА};$$

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

$$B_{\text{к}} = 26,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 4^2 \cdot 3 = 36,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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	$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 69,1 \text{ А}$	$I_{ном} = 75 \text{ А}$
	$B_k = 26,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 36,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 11,9 \text{ кА}$	$I_{дин} = 15 \text{ кА}$
	$r_2 = 0,147 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом}$
ТТ3, ТТ4 Сторона НН трансформатора	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 241,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$
	$B_k = 9,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 14700 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 8,0 \text{ кА}$	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 деревообрабатывающего цеха

4.1 Выбор защитных аппаратов и проводников

В качестве аппаратов защиты принимаем автоматические выключатели серии ВА 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: $I_{\text{доп}} \geq I_p / K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}$;
2. Согласование с аппаратом защиты: $I_{\text{доп}} \geq K_3 \cdot I_3 / K_{\text{п1}}$;
3. По допустимой потере напряжения: $\Delta U_{\text{р\%}} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l$,

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;

ΔU_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 также 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.

Электроприемники и распределительные пункты запитываются по радиальным линиям, проложенным в коробах и на лотках. Большая часть линий располагается в кабельном полуэтаже.

Примеры выбора аппаратуры и кабелей.

а) Выбор отходящего автоматического выключателя подстанции

Расчетный ток нагрузки подстанции

$$I_{р.ПС} = \frac{S_{р.ПС}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{558,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 849,1 \text{ А.}$$

Номинальный ток трансформатора подстанции

$$I_{НОМ.тр} = \frac{S_{НОМ.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 607,7 \text{ А.}$$

Максимальный рабочий ток трансформатора подстанции

$$I_{\max.раб} = 1,4 \cdot I_{НОМ.тр} = 1,4 \cdot 607,7 = 850,8 \text{ А.}$$

Пиковый ток подстанции

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.ПС}} &= I_{\text{пуск}}^{\max} + (I_{\max.раб} - K_{u.\max} \cdot I_{НОМ}^{\max}) = \\ &= 455,8 + (850,8 - 0,30 \cdot 151,9) = 1261,1 \text{ А.} \end{aligned}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА83–41 с параметрами $I_{НОМ.ав} = 1000 \text{ А}$, $I_{\text{тепл}} = 1000 \text{ А}$ [10, стр. 87-88].

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 1000 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\max.раб} = 1,1 \cdot 850,8 = 935,9 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 1,25 \cdot 1261,1 = 1576,3 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1576,3}{1000} = 1,6,$$

принимаем $K = 4,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{э.о} = K \cdot I_{тепл} = 4,0 \cdot 1000 = 4400 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{пик.ПС} = 1576,8 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

б) Выбор секционного автоматического выключателя подстанции

Максимальный рабочий ток трансформатора

$$I_{\text{max.раб}} = 850,8 \text{ А.}$$

Расчетный ток секционного выключателя

$$I_{р.СВ} = 0,7 \cdot I_{\text{max.раб}} = 0,7 \cdot 850,8 = 595,6 \text{ А.}$$

Пиковый ток сборных шин

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.СШ}} &= I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{р.СН} - K_{u.\text{max}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}) = \\ &= 455,8 + (595,6 - 0,30 \cdot 151,9) = 1005,8 \text{ А.} \end{aligned}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА51–29 с параметрами $I_{\text{НОМ.ав}} = 630 \text{ А}$,
 $I_{\text{тепл}} = 630 \text{ А}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 630 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{р.СВ} = 1,1 \cdot 595,6 = 625,4 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1,25 \cdot 1005,8 = 1257,3 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1257,3}{630} = 2,0,$$

принимаем $K = 4,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{э.о} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 4,0 \cdot 630 = 2520,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1257,3 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

в) Участок ТП – ПР1

Расчетный и пиковый ток нагрузки ПР1

$$I_{р} = 117,1 \text{ А}, \quad I_{\text{пик}} = 460,3 \text{ А.}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА74–40 с параметрами $I_{\text{НОМ.ав}} = 800 \text{ А}$,
 $I_{\text{тепл}} = 130 \text{ А}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 130 \text{ A} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 117,1 = 128,8 \text{ A.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 460,3 = 575,3 \text{ A.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{575,3}{130} = 4,4,$$

принимаем $K = 8,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 8,0 \cdot 130 = 1040,0 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 575,3 \text{ A.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки АВВГнг-LS – 2(5×120) с $I_{\text{доп}} = 200 \text{ A}$ [9, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 200 \text{ A} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{117,1}{1,0 \cdot 1,0} = 117,1 \text{ A.}$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 200 \text{ A} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1,25 \cdot 130}{1,0} = 162,5 \text{ A,}$$

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

$$\Delta U_{\text{p\%}} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,130 \cdot 117,1 \cdot 0,152 = 2,31\% < 5\%,$$

где l – длина линии с учетом непрямолинейной прокладки и разделки кабеля, км;

5% – допустимое значение потерь напряжения;

ΔU_0 – потеря напряжения в трехфазных сетях 380 В [10, стр. 91, табл. П.2.11],
%/ (А·км).

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

г) Участок ПР1 – Шлифовальный станок

Номинальный и пусковой ток нагрузки

$$I_{\text{ном}} = 52,5 \text{ А}, \quad I_{\text{пуск}} = 262,6 \text{ А}.$$

Намечаем к установке автомат марки ВА47–63 с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 63 \text{ А}$,
 $I_{\text{тепл}} = 63 \text{ А}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 63 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 52,5 = 57,8 \text{ А}.$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 262,6 = 394,0 \text{ А}.$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,5 \cdot I_{\text{пуск}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{394,0}{63} = 6,3,$$

принимаем $K = 7,5$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 7,5 \cdot 63 = 472,5 \text{ А} > 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 394,0 \text{ А}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки АВВГнг-LS – 1(5×35) с $I_{\text{доп}} = 90 \text{ А}$.

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 90 \text{ А} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{52,5}{1,0 \cdot 0,85} = 61,8 \text{ А}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 90 \text{ А} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1,25 \cdot 63}{1,0} = 78,8 \text{ А}.$$

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 4.1 (для распределительных пунктов) и таблицу 4.2 (для отдельных электроприемников).

Таблица 4.1 – 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 исполнения	$K_{п1}$	$K_{п2}$	$\frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2}}$, А	K_3	$\frac{K_3 \cdot I_3}{K_{п1}}$, А	Кабель		L, м	cosφ	ΔU ₀ , %	ΔU _p , %	
				Тип	К	$\frac{I_{тепл}}{I_{э.о.}}$, А							Марка	I _{доп} , А					
Отходящий выключатель ТП	$\frac{850,8}{1261,1}$	935,9	1576,3	ВА83 – 41	4,0	$\frac{1000}{4000}$	В коробе, на лотках	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Секционный выключатель ТП	$\frac{595,6}{1005,8}$	625,4	1257,3	ВА51 – 29	4,0	$\frac{630}{2520}$		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ТП - ПР1	$\frac{117,1}{460,3}$	128,8	575,3	ВА74 – 40	8,0	$\frac{130}{1040}$		1,00	1,00	117,1	1,25	162,5	АВВГнг-LS - 1(5 × 120)	200	0,152	0,65	0,130	2,31	
ТП - ПР2	$\frac{176,5}{511,1}$	194,2	638,9	ВА74 – 40	4,0	$\frac{260}{1040}$		1,00	1,0	176,5	1,25	325,0	АВВГнг-LS - 2(5 × 95)	340	0,024	0,86	0,076	0,32	
ТП – ПР3	$\frac{83,3}{312,1}$	91,7	390,2	ВА74 – 40	6,5	$\frac{130}{845}$		1,00	1,0	83,3	1,25	162,5	АВВГнг-LS - 1(5 × 120)	200	0,153	0,70	0,130	1,66	
ТП – ПР4	$\frac{228,9}{639,1}$	251,8	798,9	ВА74 – 40	4,0	$\frac{260}{1040}$	1,00	1,0	228,9	1,25	325,0	АВВГнг-LS - 2(5 × 95)	340	0,095	0,78	0,071	1,54		

Таблица 4.2 – Выбор аппаратов защиты и проводников электроприёмников

Приемник	I _{ном} , А	I _{пуск} , А	1,1·I _{ном} , А	1,5·I _{пуск} , А	Автомат				K _{п1}	K _{п2}	$\frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2}}$, А	K _з	$\frac{K_з \cdot I_з}{K_{п1}}$, А	Кабель	
					Тип	К	I _{тепл} , А	I _{э.о} , А						Марка	I _{доп} , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Пункт распределительный ПР1															
Шлифовальный станок	52,5	262,6	57,8	394,0	ВА47 – 63	7,5	63,0	472,5	1,00	0,75	70,0	1,25	78,8	АВВГнг-LS –1(5 × 35)	90
Фуговальный станок	70,9	354,6	78,0	531,8	ВА47 – 100	7,5	80,0	600,0	1,00	0,75	94,5	1,25	100,0	АВВГнг-LS –1(5 × 50)	110
Пункт распределительный ПР2															
Сверлильный станок	15,8	78,8	17,3	118,2	ВА47 – 63	7,5	20	150,0	1,00	0,75	21,0	1,25	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 4)	27
Сушильный шкаф	88,0	–	96,8	–	ВА47 – 100	–	100	–	1,00	0,75	117,3	1,25	125,0	АВВГнг-LS –1(5 × 70)	140
Циркулярная пила	42,0	210,1	46,2	315,2	ВА47 – 63	7,5	50	375,0	1,00	0,75	56,0	1,25	62,5	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Пресс	23,6	118,2	26,0	177,3	ВА47 – 63	7,5	32	236,3	1,00	0,75	31,5	1,25	39,4	АВВГнг-LS –1(5 × 10)	42
Полировочный станок	57,8	288,9	63,6	433,3	ВА47 – 100	7,5	80	600,0	1,00	0,75	77,0	1,25	100,0	АВВГнг-LS –1(5 × 50)	110
Фрезерный станок	49,9	249,5	54,9	374,3	ВА47 – 63	7,5	63	472,5	1,00	0,75	66,5	1,25	78,8	АВВГнг-LS –1(5 × 35)	90
Вентилятор	18,1	126,5	19,9	189,8	ВА47 – 63	10,0	20	200,0	1,00	0,75	24,1	1,25	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 4)	27
Кран-балка ПВ = 40%	68,3	341,4	75,1	512,1	ВА47 – 100	7,5	80	600,0	1,00	0,75	91,0	1,25	100,0	АВВГнг-LS –1(5 × 50)	110
Пункт распределительный ПР3															
Токарный станок	47,3	236,4	52,0	354,6	ВА47 – 63	7,5	63	472,5	1,00	0,85	55,6	1,25	78,8	АВВГнг-LS –1(5 × 35)	90
Точильный станок	15,8	78,8	17,3	118,2	ВА47 – 63	7,5	20	150,0	1,00	0,85	18,5	1,25	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 4)	27
Вентилятор	18,1	126,5	19,9	189,8	ВА47 – 63	10,0	20	200,0	1,00	0,85	21,3	1,25	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 4)	27
Пункт распределительный ПР4															
Сушильный шкаф	88,0	–	96,8	–	ВА47 – 100	–	100	–	1,00	0,85	103,5	1,25	125,0	АВВГнг-LS –1(5 × 70)	140
Циркулярная пила	42,0	210,1	46,2	315,2	ВА47 – 63	7,5	50	375,0	1,00	0,85	49,4	1,25	62,5	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Пресс	23,6	118,2	26,0	177,3	ВА47 – 63	7,5	32	236,3	1,00	0,85	27,8	1,25	39,4	АВВГнг-LS –1(5 × 10)	42
Полировочный станок	57,8	288,9	63,6	433,3	ВА47 – 63	7,5	80	600,0	1,00	0,85	68,0	1,25	100,0	АВВГнг-LS –1(5 × 50)	110
Клееварка	12,8	–	14,1	–	ВА47 – 100	–	16	–	1,00	0,85	15,1	1,25	20,0	АВВГнг-LS –1(5 × 4)	27
Сварочный трансформатор ПВ = 40%	151,9	455,8	167,1	683,7	ВА57 – 35	4,0	200	800,0	1,00	0,85	178,7	1,25	250,0	АВВГнг-LS –1(5 × 185)	270

4.2 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 – ТП1 – ПРЗ – ЭП №19.

Расчетные данные приемника №19

$$P_{\text{НОМ}} = 18,0 \text{ кВт}, \quad Q_{\text{НОМ}} = 21,0 \text{ кВАр}, \quad S_{\text{НОМ}} = 27,7 \text{ кВА}.$$

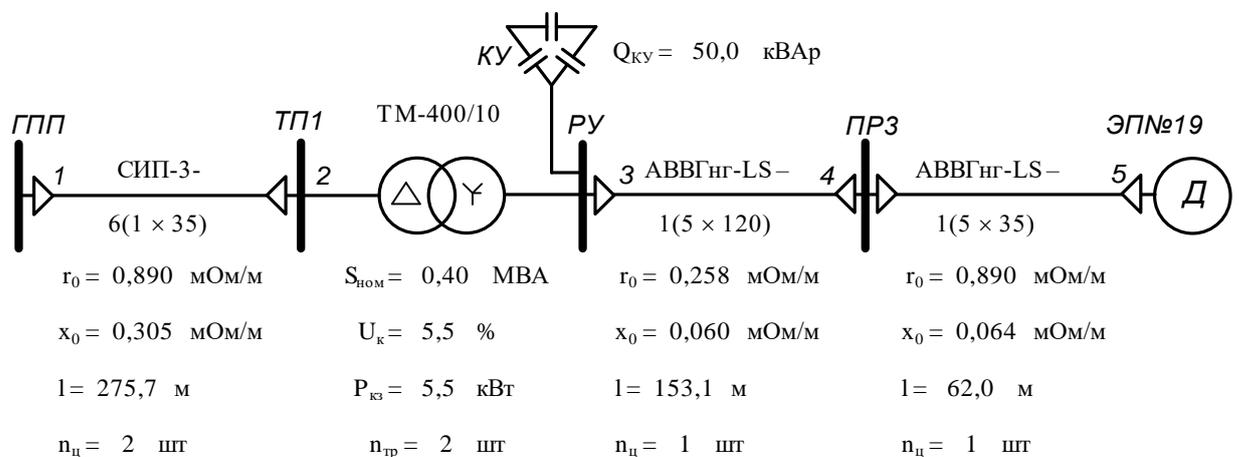


Рисунок 4.1 – Расчетная схема

Расчет максимального режима нагрузки

Участок 1-2

Активное и реактивное сопротивление участка 1-2

$$R_{12} = \frac{r_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,890 \cdot 275,7}{2} \cdot 10^{-3} = 0,1227 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = \frac{x_{12} \cdot l_{12}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,305 \cdot 275,7}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0420 \text{ Ом}.$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 1-2

$$P_{12} = \sum P_{\text{ц.ТП}} = 550,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{12} = \sum Q_{\text{ц.ТП}} - Q_{\text{КУ}} = 321,8 - 225,0 = 96,8 \text{ кВАр}.$$

Потеря напряжения на участке 1-2

$$\Delta U_{12,\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{550,4 \cdot 0,1227 + 96,8 \cdot 0,0420}{10 \cdot 10,5^2} = 0,065\%.$$

Потеря напряжения на участке 1-2 в именованных единицах

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12,\%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,065 \cdot \frac{10500}{100} = 6,8 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 1-2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 6,8 = 10493,2 \text{ В.}$$

Участок 2-3

Активная и реактивная составляющая значения напряжения короткого замыкания трансформатора

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{ном.тр}} = \frac{5,5 \cdot 100\%}{400} = 1,375,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,375^2} = 5,325.$$

Коэффициент загрузки трансформатора

$$\beta_T = \frac{S_{12}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{558,8}{2 \cdot 400} = 0,699.$$

Коэффициент мощности на участке 2-3

$$\cos \varphi = \frac{P_{23}}{S_{23}} = \frac{550,4}{558,8} = 0,98, \quad \sin \varphi = \frac{Q_{23}}{S_{23}} = \frac{96,8}{558,8} = 0,17.$$

Потеря напряжения на участке 2-3

$$\begin{aligned} \Delta U_{23,\%} &= \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi) = \\ &= 0,699 \cdot (1,375 \cdot 0,98 + 5,325 \cdot 0,17) + \frac{0,699^2}{200} \cdot (1,375 \cdot 0,17 - 5,325 \cdot 0,98) = \\ &= 1,578\%. \end{aligned}$$

Потеря напряжения на участке 2-3 в именованных единицах

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 1,578 \cdot \frac{10493,2}{100} = 165,6 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 2-3

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 10493,2 - 165,6 = 10327,6 \text{ В.}$$

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

$$U_3^{\text{нн}} = U_3 = 400 \cdot \frac{10327,6}{10500} = 393,4 \text{ В.}$$

Участок 3-4

Активное и реактивное сопротивление участка 3-4

$$R_{34} = \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,258 \cdot 153,1}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0395 \text{ Ом,}$$

$$X_{34} = \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 153,1}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0092 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 3-4

$$P_{34} = P_{\text{ПР}} = 47,3 \text{ кВт,} \quad Q_{34} = Q_{\text{ПР}} = 27,8 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 3-4

$$\Delta U_{34, \%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{47,3 \cdot 0,0395 + 27,8 \cdot 0,0092}{10 \cdot 0,393^2} = 1,372\%.$$

Потеря напряжения на участке 3-4 в именованных единицах

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34, \%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 1,372 \cdot \frac{393,4}{100} = 5,4 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 3-4

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 393,4 - 5,4 = 388,0 \text{ В.}$$

Участок 4-5

Активное и реактивное сопротивление участка 4-5

$$R_{45} = \frac{r_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,890 \cdot 62,0}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0551 \text{ Ом,}$$

$$X_{45} = \frac{x_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,064 \cdot 62,0}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0039 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 4-5

$$P_{45} = P_{\text{НОМ}} = 18,0 \text{ кВт,} \quad Q_{45} = Q_{\text{НОМ}} = 21,0 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 4-5

$$\Delta U_{45, \%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{18,0 \cdot 0,0551 + 21,0 \cdot 0,0039}{10 \cdot 0,388^2} = 0,714\%.$$

Потеря напряжения на участке 4-5 в именованных единицах

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45,\%} \cdot \frac{U_4}{100\%} \Delta U_{45} = 0,714 \cdot \frac{388,0}{100} = 2,8 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 4-5

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 388,0 - 2,8 = 385,3 \text{ В.}$$

Для расчёта режима минимальной нагрузки необходимо по графикам нагрузки предприятия определить коэффициенты минимальной нагрузки по активной и реактивной мощности.

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

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
P_i , кВт	550,4	550,4	47,3	18,0
Q_i , кВАр	96,8	96,8	27,8	21,0
S_i , кВА	558,8	558,8	54,8	27,7
R_i , Ом	0,123	—	0,0395	0,0551
X_i , Ом	0,042	—	0,0092	0,0039
$\cos\varphi$	—	0,985	—	—
$\sin\varphi$	—	0,173	—	—
β_T	—	0,699	—	—
U_a , %	—	1,375	—	—
U_p , %	—	5,325	—	—
ΔU_i , %	0,065	1,578	1,372	0,714
ΔU_i , В	6,8	165,6	5,4	2,8
U_i , В	10493,2	393,4	388,0	385,3

окончание таблицы 4.5

Минимальный режим нагрузки				
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5
P_i , кВт	357,8	357,8	30,7	18,0
Q_i , кВАр	63,0	63,0	18,1	21,0
S_i , кВА	363,2	363,2	35,6	27,7
R_i , Ом	0,123	—	0,0395	0,0551
X_i , Ом	0,042	—	0,0092	0,0039
$\cos\varphi$	—	0,985	—	—
$\sin\varphi$	—	0,173	—	—
β_T	—	0,454	—	—
U_a , %	—	1,375	—	—
U_p , %	—	5,325	—	—
ΔU_i , %	0,047	1,029	0,881	0,699
ΔU_i , В	4,7	102,8	3,5	2,7
U_i , В	9995,3	395,7	392,2	389,5
Послеаварийный режим нагрузки				
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5
P_i , кВт	550,4	550,4	47,3	18,0
Q_i , кВАр	96,8	96,8	27,8	21,0
S_i , кВА	558,8	558,8	54,8	27,7
R_i , Ом	0,245	—	0,0395	0,0551
X_i , Ом	0,084	—	0,0092	0,0039
$\cos\varphi$	—	0,985	—	—
$\sin\varphi$	—	0,173	—	—
β_T	—	1,397	—	—
U_a , %	—	1,375	—	—
U_p , %	—	5,325	—	—
ΔU_i , %	0,130	3,132	1,418	0,739
ΔU_i , В	13,6	328,5	5,5	2,8
U_i , В	10486,4	387,0	381,5	378,7

По результатам расчетов строим эпюры отклонения напряжений. Эпюры представлена на рисунке 4.2.

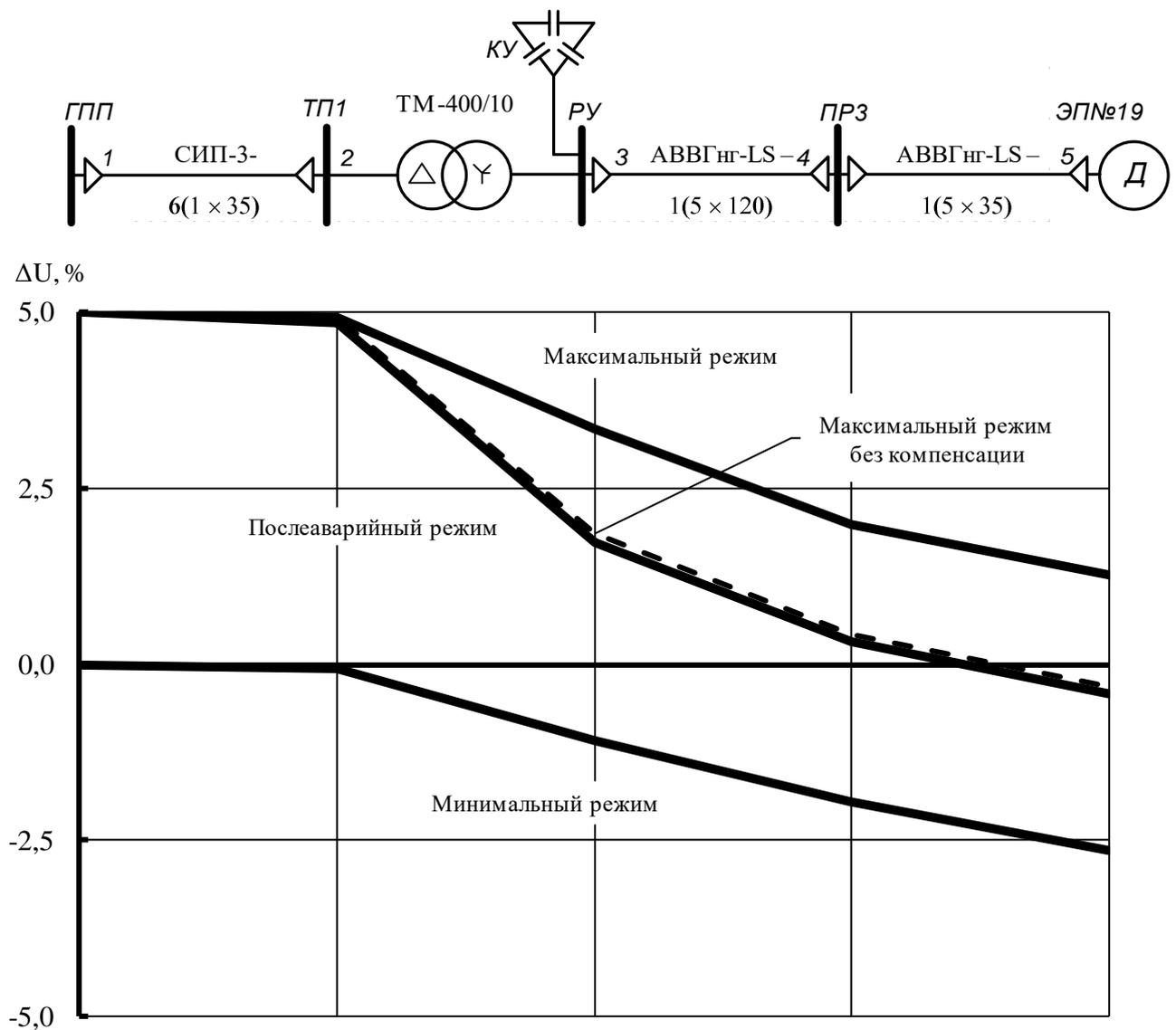


Рисунок 4.2 – Эпюры отклонения напряжений

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

4.3 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 4.4 и на её основе схему замещения, рисунок 4.5.

Расчет токов КЗ ведем для участка ТП1 – ПР3 – ЭП №19.

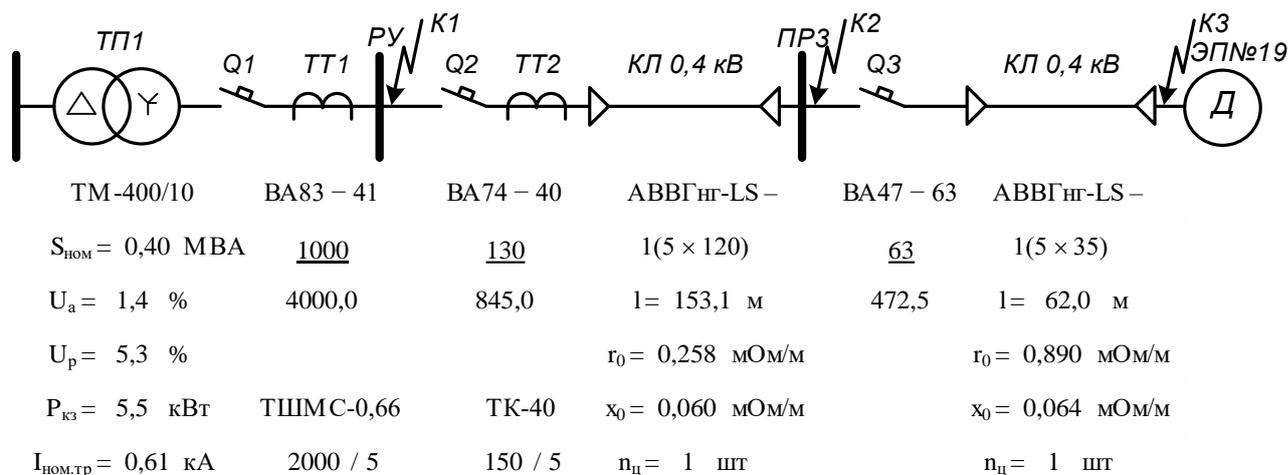


Рисунок 4.4 – Расчетная схема

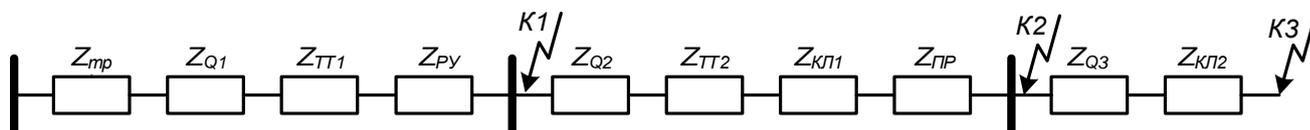


Рисунок 4.5 – Схема замещения

Сопротивления элементов.

Трансформаторы

$$R_{тр} = \frac{U_a}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном.тр}} = \frac{1,375}{100} \cdot \frac{400^2}{400} = 5,5 \text{ мОм},$$

$$X_{тр} = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном.тр}} = \frac{5,325}{100} \cdot \frac{400^2}{400} = 21,3 \text{ мОм},$$

$$Z_{тр} = \sqrt{R_{тр}^2 + X_{тр}^2} = \sqrt{5,5^2 + 21,3^2} = 22,0 \text{ мОм}.$$

Сопротивления ступеней распределения складывается из переходного сопротивления распределительного устройства и переходного сопротивления неподвижных контактных соединений [1, стр. 243, табл. 7.2, стр. 244, табл. 7.4]

$$Z_{ру} = R_{ру} + R_{н.к} = 15,0 + 0,024 = 15,024 \text{ мОм},$$

$$Z_{пр} = R_{пр} + R_{н.к} = 20,0 + 0,056 = 20,056.$$

Сопротивления автоматических выключателей складывается из сопротивления расцепителя и переходного сопротивления контактов [1, стр. 244, табл. 7.3]

$$Z_{Q1} = \sqrt{(R_{расц1} + R_{к1})^2 + X_{расц1}^2} = \sqrt{(0,10 + 0,15)^2 + 0,10^2} = 0,27 \text{ мОм},$$

$$Z_{Q2} = \sqrt{(R_{расц2} + R_{к2})^2 + X_{расц2}^2} = \sqrt{(0,70 + 0,70)^2 + 0,70^2} = 1,57 \text{ мОм},$$

$$Z_{Q3} = \sqrt{(R_{расц3} + R_{к3})^2 + X_{расц3}^2} = \sqrt{(2,40 + 1,00)^2 + 2,00^2} = 3,94 \text{ мОм}.$$

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]

$$Z_{ТТ2} = \sqrt{R_{ТТ2}^2 + X_{ТТ2}^2} = \sqrt{0,75^2 + 1,20^2} = 1,42 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

$$R_{КЛ1} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{ц}} = \frac{0,258 \cdot 153,1}{1} = 39,5 \text{ мОм},$$

$$X_{КЛ1} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{ц}} = \frac{0,060 \cdot 153,1}{1} = 9,2 \text{ мОм},$$

$$Z_{КЛ1} = \sqrt{R_{КЛ1}^2 + X_{КЛ1}^2} = \sqrt{39,5^2 + 9,2^2} = 40,6 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

$$R_{КЛ2} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{ц}} = \frac{0,890 \cdot 62,0}{1} = 55,1 \text{ мОм},$$

$$X_{КЛ2} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{ц}} = \frac{0,064 \cdot 62,0}{1} = 3,9 \text{ мОм},$$

$$Z_{КЛ2} = \sqrt{R_{КЛ2}^2 + X_{КЛ2}^2} = \sqrt{55,1^2 + 3,9^2} = 55,3 \text{ мОм}.$$

Расчет тока короткого замыкания для точки К1.

Полное сопротивление до точки К1

$$Z_{К1} = Z_{тр} + Z_{Q1} + Z_{ТТ2} + Z_{ру} = 22,0 + 0,27 + 0 + 15,024 = 37,3 \text{ мОм}.$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{K1} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 37,3} = 6,2 \text{ кА.}$$

Постоянная времени

$$T_{a1} = \frac{X_{рез1}}{\omega \cdot R_{рез1}} = \frac{21,4}{314 \cdot 20,8} = 0,0033 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд1} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,0033} = 1,047.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К1

$$i_{уд,К1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,047 \cdot 6,2 = 9,2 \text{ кА.}$$

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	Z_{Σ} , МОм	$k_{уд}$	T_a , с	I_K , кА	$i_{уд}$, кА
К1	37,3	1,047	0,0033	6,2	9,2
К2	100,9	1,000	0,0013	2,3	3,2
К3	160,1	1,000	0,0009	1,4	2,0

4.4 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 таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Данные для построения карты селективности

Узел нагрузки	ТП1	ПР3	Станок №19
Расчетный ток I_p , А	850,8	228,9	–
Пиковый ток $I_{пик}$, А	1261,1	639,1	–
Номинальный ток $I_{ном}$, А	–	–	47,3
Пусковой ток $I_{пуск}$, А	–	–	236,4
Ток КЗ I_k , А	6192,5	2289,1	1442,3
Тип аппарата	ВА83 – 41	ВА74 – 40	ВА47 – 63
Условия срабатывания по току			
– при перегрузке $I_{ном.расц}$, А	1000	130	63,0
– при КЗ $I_{кз}$, А	4000,0	780,0	472,5
Условия срабатывания по времени, с	0,2	0,1	0,02

Карта селективности представлена на рисунке 4.6.

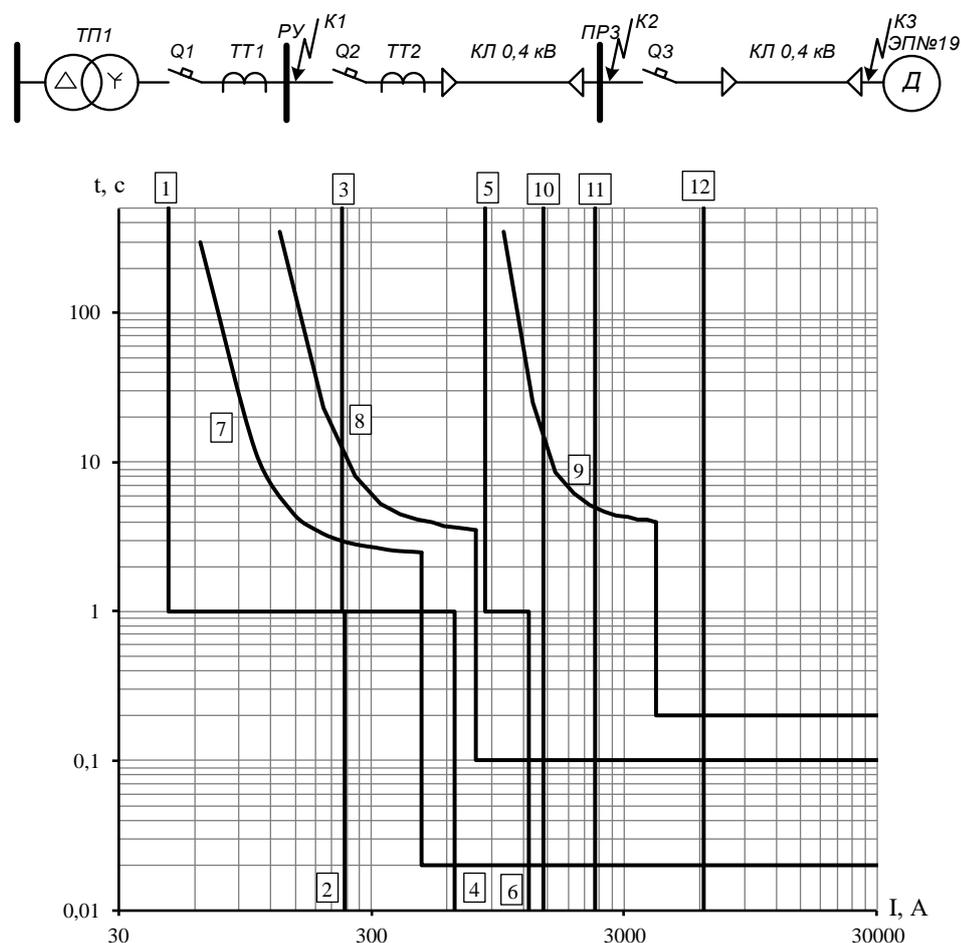


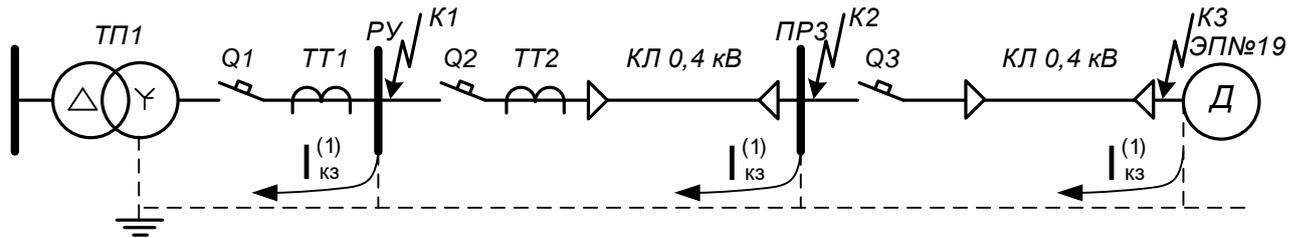
Рисунок 4.6 – Карта селективности действия аппаратов защиты

1 – номинальный ток электроприемника; 2 – пусковой ток электроприемника; 3 – расчетный ток ПР; 4 – пиковый ток ПР; 5 – расчетный ток ТП; 6 – пиковый ток ТП; 7 – автомат электроприемника; 8 – автомат ПР; 9 – автомат ТП; 10 – КЗ в точке К3; 11 – КЗ в точке К2; 12 – КЗ в точке К1.

4.5 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 ТП1 – ПРЗ – ЭП №19.



ТМ-400/10	ВА83 – 41	ВА74 – 40	АВВГнг-LS –	ВА47 – 63	АВВГнг-LS –
$Z_{тр} = 56,0 \text{ мОм}$	<u>1000</u>	<u>130</u>	1(5 × 120)	<u>63</u>	1(5 × 35)
	4000,0	845,0	l = 153,1 м	472,5	l = 62,0 м
			$r_{\phi} = 0,258 \text{ мОм/м}$		$r_{\phi} = 0,890 \text{ мОм/м}$
	ТШМС-0,66	ТК-40	$r_{н} = 0,620 \text{ мОм/м}$		$r_{н} = 2,120 \text{ мОм/м}$
	2000 / 5	150 / 5	$x' = 0,600 \text{ мОм/м}$		$x' = 0,600 \text{ мОм/м}$
			$n_{ц} = 1 \text{ шт}$		$n_{ц} = 1 \text{ шт}$

Рисунок 4.7 – Расчетная схема

Сопротивления элементов.

Сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус [1, стр. 159, табл. 7.4]

$$\frac{Z_{тр}}{3} = \frac{56,0}{3} = 18,7 \text{ мОм.}$$

Автоматические выключатели

$$R_{Q1} = 0,25 \text{ мОм,}$$

$$X_{Q1} = 0,10 \text{ мОм,}$$

$$R_{Q2} = 1,40 \text{ мОм,}$$

$$X_{Q2} = 0,70 \text{ мОм,}$$

$$R_{Q3} = 3,40 \text{ мОм,}$$

$$X_{Q3} = 2,00 \text{ мОм.}$$

Трансформатор тока ТТ2

$$R_{ТТ2} = 0,75 \text{ мОм,}$$

$$R_{ТТ2} = 1,20 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛ1

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\pi}} = \frac{0,258 \cdot 153,1}{1} = 39,5 \text{ мОм},$$

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

$$R_{н1} = \frac{r_{н} \cdot l}{n_{\pi}} = \frac{0,620 \cdot 153,1}{1} = 94,9 \text{ мОм},$$

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

$$X'_{1} = \frac{x' \cdot l}{n_{\pi}} = \frac{0,600 \cdot 153,1}{1} = 91,8 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 2} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\pi}} = \frac{0,890 \cdot 62,0}{1} = 55,1 \text{ мОм},$$

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

$$R_{н2} = \frac{r_{н} \cdot l}{n_{\pi}} = \frac{2,120 \cdot 62,0}{1} = 131,4 \text{ мОм},$$

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

$$X'_{2} = \frac{x' \cdot l}{n_{\pi}} = \frac{0,600 \cdot 62,0}{1} = 37,2 \text{ мОм}.$$

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

$$R_{д} = 0,03 \text{ мОм}.$$

Сопротивление питающей системы [1, стр. 159]

$$X_{с} = 3,2 \text{ мОм}.$$

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

Для расчета тока однофазного КЗ рекомендуется упрощенная формула

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

где U_{ϕ} – фазное напряжение сети, В.

Расчет тока короткого замыкания для точки К1.

Сопротивление петли фаза ноль до точки К1

$$Z_{n1} = \sqrt{(R_d + R_{Q1})^2 + (X_C + X_{Q1})^2} = \\ = \sqrt{(0,03 + 0,25)^2 + (3,2 + 0,10)^2} = 3,31 \text{ мОм.}$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{тр}}{3} + Z_{n1}} = \frac{220}{18,7 + 3,3} = 10,0 \text{ кА.}$$

Проверка условия

$$I_{K1}^{(1)} = 10,0 \text{ кА} > 3 \cdot I_{ном,расц} = 3 \cdot 1,000 = 3,0 \text{ кА,}$$

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_Σ , мОм	I_k , кА	$3 \cdot I_{ном,расц}$, кА
К1	3,3	10,0	3,0
К2	167,8	1,2	0,39
К3	354,0	0,59	0,19

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

5 Релейная защита

5.1 Назначение РЗА

Устройства защиты и автоматики должны выполнять определенные функции. Для релейной защиты такими функциями являются ее срабатывания при повреждении защищаемого элемента и несрабатывания при КЗ за пределами этого элемента. С целью ограничения отказов функционирования защите придаются определенные свойства. Основные из них – селективность, устойчивость и надежность функционирования.

Основные условия надежной работы релейной защиты:

- обеспечение селективности, т.е. отключение только поврежденных участков. Время срабатывания защиты характеризуется выдержкой времени, обеспечивающей селективность;
- чувствительность ко всем видам повреждений на защищаемой линии и на линиях, питаемых от нее, а также к изменению, в связи с этим параметров, что оценивается коэффициентом чувствительности;
- максимальная простота схем с наименьшим числом аппаратов и достаточная надежность, и быстродействие;
- наличие сигнализации о неисправностях в цепях, питающих аппараты релейной защиты.

Релейная защита выполняется на реле различных типов. Реле, применяемые в релейной защите, классифицируются по следующим признакам:

- по способу воздействия на отключение – прямого и косвенного действия;
- по принципу действия – электромагнитные, электродинамические, тепловые, электронные и другие;
- по параметру действия – ток, напряжение, мощность, тепловые и другие.

5.2 Защиты трансформатора

Устройства релейной защиты для силовых трансформаторов предусматривают защиту от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

- многофазных замыканий в обмотках и на выводах;
- однофазных замыканий на землю в обмотке и на выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью;
- витковых замыканий в обмотках, токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ и перегрузкой, понижения уровня масла.

Виды защит трансформатора определяются его мощностью, назначением, режимом работы, местом установки, схемой включения.

5.3 Токовые защиты трансформатора от коротких замыканий

Для защиты трансформатора небольшой и средней мощности от коротких замыканий в его обмотках на выводах и в соединениях используют токовую отсечку без выдержки времени и токовую защиту со ступенчатой характеристикой выдержки времени. Защита устанавливается со стороны источника питания непосредственно у выключателя. При этом в зону действия защиты входят трансформатор и его соединения с выключателем. Срабатывая, защита действует на отключение выключателей.

Недостатком отсечки без выдержки времени является неполная защита трансформатора. В её зону действия входит только часть обмотки. Защита не реагирует на замыкания на выводах и в соединениях с выключателем со стороны низшего напряжения.

Для устранения этого недостатка токовую отсечку без выдержки времени дополняют максимальной токовой защитой, которая является вместе с тем защитой трансформатора от сверхтоков внешних коротких замыканий. При установке на трансформаторе защита действует на отключение выключателя со стороны высшего напряжения. Для повышения чувствительности к повреждениям внутри бака защита со ступенчатой характеристикой дополняется газовой защитой.

5.4 Газовая защита

Баки трансформаторов заполняются маслом. Ток короткого замыкания, проходящий через место установки токовой защиты при повреждении внутри бака трансформатора, определяется числом замкнувшихся витков и поэтому может оказаться недостаточным для ее действия. Однако витковые замыкания представляют опасность для трансформатора и должны отключаться.

Опасным внутренним повреждением является «пожар стали» магнитопровода, который возникает при нарушении изоляции между листами магнитопровода. Токовая и дифференциальная защиты на этот вид повреждения не реагируют. В этом случае применяют газовую защиту, фиксирующую появление в баке трансформатора газа. Образование газа является следствием разложения масла и других изолирующих материалов под действием электрической дуги или недопустимого нагрева.

Основным элементом газовой защиты является газовое реле (рисунок 5.1) Корпус газового реле врезается в маслопровод между крышкой бака и расширителем, так чтобы не препятствовать циркуляции масла между ними. Элементы выполнены в виде плоскодонных алюминиевых чашек, вращающихся вместе с подвижными контактами 4 вокруг осей 3. Эти контакты замыкаются с неподвижными контактами 5 при опускании чашек.

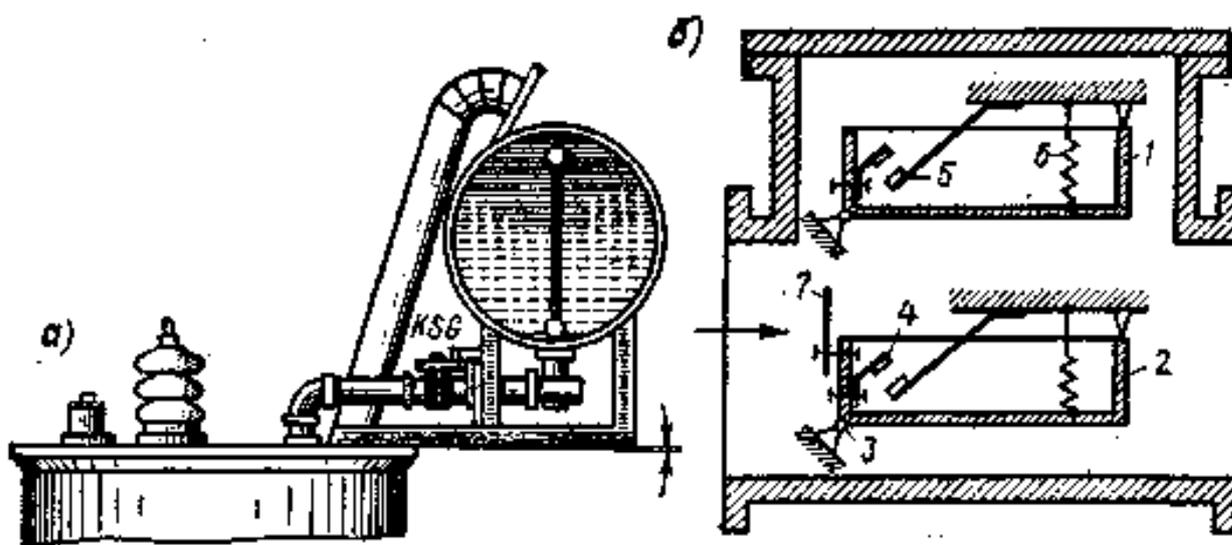


Рисунок 5.1 – Газовое реле защиты трансформатора

В нормальном режиме при наличии масла в кожухе реле чашки удерживаются пружинами 6 в положении, указанном на рисунке. Система отрегулирована так, что масса чашки с маслом является достаточной для преодоления силы пружины при отсутствии масла в кожухе реле. Поэтому понижение уровня масла сопровождается опусканием чашек и замыканием соответствующих контактов. Сначала опускается верхняя чашка и реле действует на сигнал. При интенсивном газообразовании возникает сильный поток масла и газов из бака в расширитель через газовое реле. На пути потока находится лопасть 7, действующая вместе с нижней чашкой на общий контакт. Лопасть поворачивается и замыкает контакт в цепи отключения трансформатора.

Достоинства газовой защиты: высокая чувствительность и реагирование практически на все виды повреждения внутри бака; сравнительно небольшое время срабатывания; простота выполнения.

Недостаток защиты – нереагирование на повреждения вне бака, в зоне между трансформатором и выключателями. Также, вследствие несовершенства конструкции современных газовых реле защиту приходится выводить из действия при попадании воздуха в бак трансформатора, что может быть, например, при доливке масла, после ремонта системы охлаждения и др.

5.5 Дифференциальные токовые защиты трансформаторов

Дифференциальные токовые защиты трансформаторов выполняются в виде: дифференциальной токовой отсечки; дифференциальной защиты с промежуточными насыщающимися трансформаторами тока; дифференциальной токовой защиты с реле, имеющими торможение.

Дифференциальная токовая отсечка выполняется посредством максимальных реле тока КА1 и КА2, например РТ – 40 или РТМ, включаемых непосредственно в дифференциальную цепь схемы без каких-либо промежуточных устройств.

Достоинства – быстрое действие и простота. Однако из-за большого тока срабатывания токовая отсечка иногда недостаточна чувствительна, поэтому она применяется на трансформаторах небольшой мощности.

Для выполнения дифференциальной токовой защиты с насыщающимися трансформаторами используются реле с НТТ типа РНТ – 565. Реле РНТ – 565 применяется при низкой чувствительности токовой отсечки или если требуются дополнительные устройства для выравнивания токов в схеме с реле косвенного действия. Благодаря НТТ защита отстраивается от бросков тока намагничивания. Если чувствительность защиты с реле типа РНТ недостаточна, то дифференциальная защита выполняется посредством реле с торможением.

5.6 Расчет дифференциальной защиты трансформатора ГПП

Дифференциальная защита трансформатора является основной быстродействующей защитой от межфазных КЗ и замыканий между витками одной фазы. Схема расчета дифференциальной защиты приведена на рисунке 5.2.

При создавшемся аварийном режиме в зоне защиты в работу вступает дифференциальная защита и отключает повреждение без выдержки времени со стороны НН и ВН одновременно.

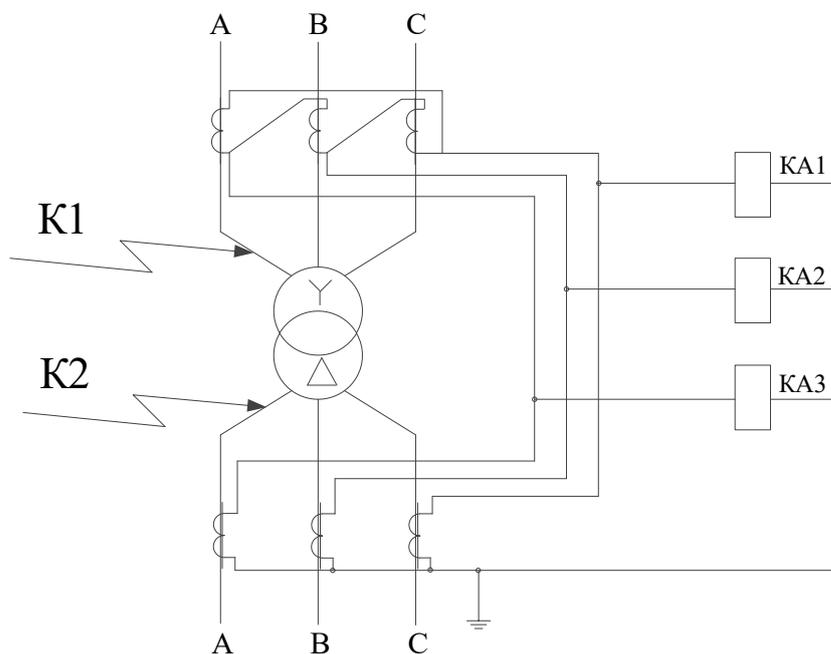


Рисунок 5.2 – Дифференциальная токовая защита трансформатора

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета дифференциальной защиты

Числовое значение для стороны	
$U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$
Номинальные токи защищаемого трансформатора:	
$I_{\text{ВН}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ.ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = \frac{1,4 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 92,4 \text{ А}$	$I_{\text{НН}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ.ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} = \frac{1,4 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 323,3 \text{ А}$
Схема соединения обмоток трансформаторов	
Y	Δ
Δ	Y
Коэффициент схемы	
$K_{\text{СХ}}^{(3)} = \sqrt{3}$	$K_{\text{СХ}}^{(3)} = 1$
Принятый стандартный коэффициент трансформации трансформаторов тока	
$K_{\text{А.ВН}} = \frac{100}{5} = 20$	$K_{\text{А.НН}} = \frac{2000}{5} = 400$
Расчетный коэффициент трансформации трансформаторов тока	
$K_{\text{А}\Delta} = \frac{K_{\text{СХ}}^{(3)} \cdot I_{\text{ВН}}}{5} = \frac{\sqrt{3} \cdot 92,4}{5} = 32,0$	$K_{\text{А}Y} = \frac{K_{\text{СХ}}^{(3)} \cdot I_{\text{НН}}}{5} = \frac{1 \cdot 323,3}{5} = 64,7$
Вторичный ток в плечах защиты	
$I_{2\text{ВН}} = \frac{K_{\text{СХ}}^{(3)} \cdot I_{\text{ВН}}}{K_{\text{А.ВН}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 92,4}{20} = 8 \text{ А}$	$I_{2\text{НН}} = \frac{K_{\text{СХ}}^{(3)} \cdot I_{\text{НН}}}{K_{\text{А.НН}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 323,3}{400} = 0,8 \text{ А}$
Токи КЗ	
$I_{\text{КЗ.ВН}} = 4398,2 \text{ А}$	$I_{\text{КЗ.НН}} = 2856,8 \text{ А}$

Ток небаланса, обусловленный погрешностью трансформаторов тока

$$I'_{\text{НБ}} = I_{\text{НБ.ТР}} = K_{\text{а}} \cdot K_{\text{одн}} \cdot \Psi_i \cdot I_{\text{КЗ.ВН.макс}} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 4398,2 = 439,8 \text{ А,}$$

где $K_{\text{а}}$ – коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей [28, стр. 156];

$K_{\text{одн}}$ – коэффициент однотипности трансформаторов тока [28, стр. 156];

Ψ_i – относительное значение полной погрешности трансформаторов тока [28, стр. 156].

Ток небаланса, обусловленный наличием РПН у силового трансформатора

$$I''_{\text{НБ}} = I_{\text{НБ.рег}} = \Delta U_{*а} \cdot K_{\text{ТОК}} \cdot I_{\text{КЗ.ВН.макс}} = 0,09 \cdot 1 \cdot 4398,2 = 395,8 \text{ А,}$$

где ΔU_{*a} – относительная погрешность, обусловленная регулированием напряжения, равная половине диапазона регулирования силового трансформатора;

$K_{\text{ток}}$ – коэффициент токораспределения (для двухобмоточного трансформатора) [28, стр. 157].

Первичный расчетный ток небаланса при внешнем КЗ

$$I_{\text{нб}} = I'_{\text{нб}} + I''_{\text{нб}} = 439,8 + 395,8 = 835,7 \text{ А.}$$

Предварительный ток срабатывания защиты по условию отстройки от тока небаланса

$$I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{над}} \cdot I_{\text{нб}} = 1,3 \cdot 835,7 = 1086,4 \text{ А,}$$

где $K_{\text{над}}$ – коэффициент надежности, учитывающий ошибку реле и необходимый запас [28, стр. 158].

Предварительный ток срабатывания защиты по условию от броска тока намагничивания

$$I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{над}} \cdot I_{\text{вн}} = 1,3 \cdot 92,4 = 120,1 \text{ А.}$$

Принимаем расчетный ток срабатывания защиты

$$I_{\text{с.з}} = 1086,4 \text{ А.}$$

Расчетный ток в реле [28, стр. 27, табл. 2.1]

$$I_{\text{р}} = 1,5 \cdot \frac{I_{\text{кз.вн.мин}}}{K_{\text{А.вн}}} = 1,5 \cdot \frac{4398,2}{20,0} = 329,9 \text{ А.}$$

При двухфазном КЗ на стороне НН ток повреждения проходит через обмотки трансформатора тока стороны ВН, соединенные в треугольник. Предварительный ток срабатывания реле

$$I_{\text{с.р}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(3)} \cdot I_{\text{с.з}}}{K_{\text{А.вн}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1086,4}{20} = 94,1 \text{ А.}$$

Предварительное значение коэффициента чувствительности при двухфазном КЗ

$$K_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{I_{\text{р}}}{I_{\text{с.р}}} = \frac{329,9}{94,1} = 3,51 > 2.$$

Проверка выполняется, можно вести расчет дальше. Необходимо определить число витков обмоток реле. Расчет начинается с определения числа витков обмотки ВН, так как это питающая сторона с регулируемым напряжением.

Таблица 5.2 – Определение числа витков насыщающегося трансформатора

Расчетный ток срабатывания реле на стороне ВН
$I_{с.р.вн.расч} = \frac{K_{сх}^{(3)} \cdot I_{с.з}}{K_{А.ВН}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1086,4}{20} = 94,1 \text{ А}$
Расчетное число витков обмотки реле для стороны ВН
$W_{вн.расч} = \frac{F_{ср}}{I_{с.р.вн.расч}} = \frac{100}{94,1} = 1,1 \text{ шт, принимаем } W_{вн} = 2 \text{ шт}$
Фактический ток срабатывания реле на стороне ВН
$I_{с.р.вн} = \frac{F_{ср}}{W_{вн}} = \frac{100}{2} = 50 \text{ А}$
Фактический расчетный ток срабатывания защиты на стороне ВН
$I_{с.з.вн} = \frac{I_{с.р.вн} \cdot K_{А.ВН}}{K_{сх}^{(3)}} = \frac{50 \cdot 20}{\sqrt{3}} = 577,4 \text{ А}$
Расчетный ток срабатывания защиты на стороне НН
$I_{с.р.нн.расч} = \frac{I_{с.з.вн} \cdot U_{вн}}{U_{нн}} = \frac{577,4 \cdot 35}{10} = 2020,7 \text{ А}$
Расчетное число витков обмотки реле для стороны НН
$W_{нн.расч} = \frac{W_{вн} \cdot I_{2вн}}{I_{2нн}} = \frac{2 \cdot 8}{0,8} = 19,8 \text{ шт, принимаем } W_{нн} = 20 \text{ шт}$
Ток небаланса, составляющая $I'''_{нб}$
$I'''_{нб} = \frac{W_{нн.расч} - W_{нн}}{W_{нн.расч}} \cdot I_{кз.вн.мах} = \frac{19,8 - 20}{19,8} \cdot 4398,2 = 45,6 \text{ А}$
Первичный расчетный ток небаланса
$I_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб} = 439,8 + 395,8 + 45,6 = 881,2 \text{ А.}$
Ток срабатывания защиты по условию отстройки от тока небаланса
$I_{с.з} \geq K_{над} \cdot I_{нб} = 1,3 \cdot 881,2 = 1145,6 \text{ А}$
Расчетное число витков обмотки реле для стороны ВН
$W_{вн.расч} = \frac{F_{ср}}{I_{с.р.вн}} = \frac{100}{50} = 2 \text{ шт, принимаем } W_{вн} = 2 \text{ шт}$

окончание таблицы 5.2

Фактический ток срабатывания реле на стороне ВН
$I_{с.р.ВН} = \frac{F_{ср}}{W_{ВН}} = \frac{100}{2} = 50 \text{ А}$
Фактический расчетный ток срабатывания защиты на стороне ВН
$I_{с.з.ВН} = \frac{I_{с.р.ВН} \cdot K_{А.ВН}}{K_{сх}^{(3)}} = \frac{50 \cdot 20}{\sqrt{3}} = 577,4 \text{ А}$
Расчетный ток срабатывания защиты на стороне НН
$I_{с.р.НН.расч} = \frac{I_{с.з.ВН} \cdot U_{ВН}}{U_{НН}} = \frac{577,4 \cdot 35}{10} = 2020,7 \text{ А}$
Расчетное число витков обмотки реле для стороны НН
$W_{НН.расч} = \frac{W_{ВН} \cdot I_{2ВН}}{I_{2НН}} = \frac{2 \cdot 8}{0,8} = 19,8 \text{ шт, принимаем } W_{НН} = 20 \text{ шт}$
Ток небаланса, составляющая $I'''_{нб}$
$I'''_{нб} = \frac{W_{НН.расч} - W_{НН}}{W_{НН.расч}} \cdot I_{кз.вн.мах} = \frac{19,8 - 20}{19,8} \cdot 4398,2 = 45,6 \text{ А}$
Первичный расчетный ток небаланса
$I_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб} = 439,8 + 395,8 + 45,6 = 881,2 \text{ А.}$
Ток срабатывания защиты по условию отстройки от тока небаланса
$I_{с.з} \geq K_{над} \cdot I_{нб} = 1,3 \cdot 881,2 = 1145,6 \text{ А}$
Уточненный ток срабатывания реле на стороне ВН
$I_{с.р.ВН} = \frac{K_{сх}^{(3)} \cdot I_{с.з}}{K_{А.ВН}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1145,6}{20} = 99,2 \text{ А}$
Окончательно принятое число витков
$W_{ВН} = 2 \text{ шт; } W_{НН} = 20 \text{ шт}$
Проверка по уравнению
$I_{2ВН} \cdot W_{ВН} = 8 \cdot 2 = 16 \cong I_{2НН} \cdot W_{НН} = 0,8 \cdot 20 = 16,2$

Расчетный ток в реле [28, стр. 27, табл. 2.1]

$$I_p = 1,5 \cdot \frac{I_{кз.вн.мин}}{K_{А.ВН}} = 1,5 \cdot \frac{4398,2}{20} = 329,9 \text{ А.}$$

Оценка значения коэффициента чувствительности при двухфазном КЗ

$$K_{ч}^{(2)} = \frac{I_p}{I_{с.р}} = \frac{329,9}{99,2} = 3,32 > 2.$$

Рассчитанная защита достаточно чувствительна и может быть рекомендована к установке.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А5Д1	Петягова Надежда Дмитриевна

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- Примерный бюджет проекта – 255 тыс руб.; - В реализации проекта задействованы два человека: руководитель, инженер.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 - Минимальный размер оплаты труда (на 2020 год) составляет 12130 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- Отчисления по страховым взносам 30% от ФОТ; - Накладные расходы 16%; - Районный коэффициент 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование; - Анализ конкурентных технических решений; - SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета проектной работы.	- Планирование выполнения работ по проекту; - Расчет бюджета затрат на проектирование; - Составление сметы затрат на основное электрооборудование рассматриваемого объекта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.	- Описание потенциального эффекта

Перечень графического материала:

1. Календарный план-график выполнения проекта (Диаграмма Ганта).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т. Г.	Доцент, к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А5Д1	Петягова Надежда Дмитриевна		

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной выпускной квалификационной работе проектируется завод среднего машиностроения. Наибольшее внимание, согласно специальности, уделено расчету схемы электроснабжения.

Целью данного раздела является анализ ресурсоэффективности и конкурентоспособности проектируемого предприятия. Для этого будет проведен анализ конкурентоспособности, SWOT-анализ, осуществлено планирование работ по расчету электрической части проекта и рассчитан бюджет затрат.

Работы по выполнению проекта производилась группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и инженера.

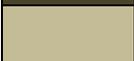
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта

Данное предприятие может представлять интерес для организаций, работающих в промышленном секторе, в сельском хозяйстве, строительном секторе, а также в точках розничной торговли и для физических лиц. Поэтому можно говорить о том, что проект имеет высокий коммерческий потенциал.

Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование проводится по двум основным критериям – размер потребителя и вид выпускаемой продукции. Карта сегментирования приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка

		Вид продукции													
		Оборудование и инструмент			Легковой транспорт			Запасные части			Услуги по ремонту и установке доп. оборудования				
Размер потребителя	Крупные														
	Средние														
	Мелкие														

	– промышленные предприятия;
	– сельское хозяйство;
	– строительный сектор;
	– розничная торговля, автомастерские и физические лица.

По карте сегментирования видно, что у всей выпускаемой продукции есть свой целевой потребитель, не зависимо от размера предприятия. Мелкие компании и физические лица заинтересованы во всем спектре выпускаемой продукции. Остальные компании заинтересованы преимущественно в покупке автомобилей и их квалифицированном обслуживании.

6.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих предприятий, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в производственный процесс, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

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

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов 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.

Анализ конкурентных технических решений определяется

$$K = \sum(B_i \cdot B_i),$$

где K – конкурентоспособность конкурента;

B_i – вес показателя, в долях единицы;

B_i – балл i -го показателя.

В таблица 6.2 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений. Сравнение производилось с конкурирующими заводами ООО «ГАЗ», «Автотор». Эти предприятия наиболее близкие по ассортименту выпускаемой продукции.

Таблица 6.2 – Оценочная карта

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,05	4	2	2	0,20	0,10	0,10
2. Надежность	0,05	4	2	3	0,20	0,10	0,15
3. Безопасность	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,20
4. Функциональная мощность	0,20	5	2	3	1,00	0,40	0,60
5. Энергоэффективность	0,15	5	4	2	0,75	0,60	0,30
6. Современная элементная база	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	5	4	3	0,75	0,60	0,45
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	1	4	0,20	0,05	0,20
3. Цена	0,05	3	4	4	0,15	0,20	0,20
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4	3	4	0,60	0,45	0,60
5. Наличие сертификации продукции	0,05	5	4	4	0,30	0,20	0,20
Итого	1,00	49	32	36	4,65	3,00	3,15

По результатам расчета видно, что рассматриваемое предприятие конкурентоспособно, по сравнению с предприятиями аналогичного профиля. Наибольшие преимущества наблюдаются в энергоэффективности и функциональной мощности, а также в большем ассортименте сертифицированной продукции. Но продукция рассматриваемого предприятия имеет высокую цену по сравнению с продукцией конкурентов.

6.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT-анализ используется для определения слабых и сильных сторон проекта, таблица 6.3. Анализ производился на основе сравнения с конкурирующими заводами ООО «ГАЗ», «Автотор».

Таблица 6.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Наличие инновационных способностей и возможности их реализации</p> <p>С2. Связи с поставщиками</p> <p>С3. Высокая ресурсоэффективность</p> <p>С4. Удобное местоположение предприятия</p> <p>С5. Огромные мощности</p>	<p>Сл1. Быстрое устаревание модельного ряда</p> <p>Сл2. Конкурентное давление</p> <p>Сл3. Устаревшая технология</p> <p>Сл4. Средние маркетинговые способности;</p> <p>Сл5. Текучка кадров</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Разработка новых технологий и видов продукции</p> <p>В2. Поддержка государства</p> <p>В3. Развитие розничной и мелкооптовой торговли, сферы услуг</p> <p>В4. Расширение производственной линии</p>	<p>Повышение конкурентоспособности за счет улучшения качества продукции и разработки новых технологий и видов продукции.</p>	<p>Качественная работа с потенциальными потребителями.</p> <p>Расширение списка дополнительных услуг.</p> <p>Разработка новых моделей.</p> <p>Обновление оборудования</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Конкуренция иностранных производителей</p> <p>У2. Замедление роста рынка</p> <p>У3. Изменение потребностей и вкусов</p>	<p>Анализ деятельности новых игроков на рынке.</p> <p>Гибкая подстройка технологического процесса под требования потребителя.</p> <p>Своевременное обучение и повышение</p>	<p>Расширение списка дополнительных услуг.</p> <p>Разработка новых моделей.</p>

покупателей У4. Экономическая ситуация в стране	квалификации персонала. Диверсификация	
-------------------------------------------------------	-------------------------------------------	--

Для выявления соответствия сильных и слабых сторон внешним условиям строится интерактивная матрица проекта, таблица 6.4. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Таблица 6.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности	В1	+	0	0	–	+
	В2	+	–	–	–	–
	В3	+	+	+	+	+
	В4	+	+	+	–	+
Результат	В1С1С5; В2С1; В3С1С2С3С4С5; В4С1С2С3С5					
Угрозы	У1	0	+	+	+	+
	У2	0	0	–	–	+
	У3	+	–	–	–	0
	У4	+	–	–	–	–
Результат	У1С2С3С4С5 У2С5; У3С1; У4С1					
Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности	В1	+	+	+	+	–
	В2	+	–	–	–	–
	В3	–	+	+	+	–
	В4	0	+	0	+	–
Результат	В1Сл1Сл2Сл3Сл4; В2Сл1; В3Сл2Сл3Сл4; В4Сл2Сл4					
Угрозы	У1	+	+	+	+	–
	У2	–	0	–	+	–
	У3	+	–	+	0	–
	У4	–	–	–	–	–
Результат	У1Сл1Сл2Сл3Сл4; У2Сл4; У3Сл1Сл3					

В результате проведения SWOT анализа были выявлены основные проблемы, с которыми сталкивается или может столкнуться в будущем предприятие. А также способы их решения. Для уменьшения угроз необходимо:

- расширять ассортимент и повышать качество продукции, анализируя внутренних и внешних конкурентов;
- гибкая подстройка технологического процесса под требования потребителя, внедрение новых технологий в выпускаемую продукцию;
- для противостояния экономической ситуации и замедлению роста рынка активно использовать государственные программы помощи.

Для борьбы со слабыми сторонами необходимо:

- расширять модельный ряд;
- активная реклама продукции и предприятия в целом;

- своевременно обновлять оборудование и технологические линии;
- разработка долгосрочной стратегии, учитывающей развитие предприятия в целом и кадрового состава в частности;
- качественно решать вопросы внутренней политики предприятия – повышать квалификацию сотрудников, обеспечивать социальные потребности, поощрять, обеспечивать профессиональный рост.

6.4 Планирование выполнения работ по проекту и формирование бюджета проектной работы

Для того, чтобы выполнить расчет затрат на проектирование электроснабжения объекта в срок при наименьших затратах средств, составляется план-график, в котором рассчитывается поэтапная трудоемкость всех работ. После определения трудоемкости всех этапов темы, назначается число участников работы по этапам (таблица 6.5).

На основе таблицы 6.5 строится календарный план-график рисунок 6.1. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта.

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность выполнения технического проекта составляет 88 дней.

Затраты на разработку проекта

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{мат}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}} + Z_{\text{накл}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{монт}},$$

где $Z_{\text{зп}}$ – заработная плата, руб;

$Z_{\text{мат}}$ – материальные затраты, руб;

$Z_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники, руб;

$Z_{\text{внеб}}$ – отчисления на социальные нужды, руб;

$Z_{\text{контр}}$ – прочие затраты, руб;

$Z_{\text{накл}}$ – накладные расходы, руб;

$Z_{\text{об}}$ – прочие затраты, руб;

$Z_{\text{монт}}$ – накладные расходы, руб.

Таблица 6.5 – План разработки выполнения этапов проекта

№ п/п	Перечень выполненных работ	Исполнители	Прод-сть, дн.	З _{дн} , руб	З _{осн} , руб
1	Ознакомление с производственной документацией. Постановка задачи работникам	Руководитель	2	2104,4	4208,7
		Инженер	2	1309,6	2619,2
2	Расчет электрических нагрузок по цеху	Инженер	5	1309,6	6547,9
3	Расчет электрических нагрузок по предприятию	Инженер	8	1309,6	10476,6
4	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Инженер	2	1309,6	2619,2
5	Выбор трансформаторов цеховых подстанций и выбор средств компенсации	Инженер	5	1309,6	6547,9
6	Выбор трансформаторов ГПП	Инженер	3	1309,6	3928,7
7	Расчет внутривозвратной сети предприятия	Руководитель	1	2104,4	2104,4
		Инженер	10	1309,6	13095,8
8	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	Инженер	2	2104,4	4208,7
9	Выбор электрооборудования в сети выше 1000 В	Инженер	2	2104,4	4208,7
10	Расчет схемы электроснабжения цеха	Руководитель	1	2104,4	2104,4
		Инженер	10	2104,4	21043,6
11	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В	Инженер	2	2104,4	4208,7
12	Проверка селективности действия аппаратов защиты	Инженер	1	2104,4	2104,4
13	Расчет релейной защиты и автоматики	Инженер	1	2104,4	2104,4
14	Расчет эпюры отклонений напряжения	Инженер	1	2104,4	2104,4
15	Составление расчетно-пояснительной записки	Руководитель	3	2104,4	6313,1
		Инженер	18	1309,6	23572,4
16	Чертежные работы	Руководитель	2	2104,4	4208,7
		Инженер	16	1309,6	20953,3
Итого по каждой должности		Руководитель	9	2104,4	18939,2
		Инженер	88	1309,6	115242,9
Итого З _{осн} сотрудников, руб					134182,2

Наименование исполнителя	Календарные дни												Перечень выполняемых работ	
	10	20	30	40	50	60	70	80						
Руководитель	■													Получение тех. задания. Постановка задачи работникам
				■										Расчет внутризаводской сети предприятия
					■									Расчет схемы электроснабжения цеха
							■							Составление расчетно-пояснительной записки
												■		Чертежные работы
Инженер	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Ознакомление с производственной документацией
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Расчет электрических нагрузок по цеху
			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Расчет электрических нагрузок по предприятию
				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН
					■	■	■	■	■	■	■	■	■	Выбор трансформаторов цеховых подстанций
						■	■	■	■	■	■	■	■	Выбор трансформаторов ГПП
							■	■	■	■	■	■	■	Расчет внутризаводской сети предприятия
								■	■	■	■	■	■	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.
									■	■	■	■	■	Выбор электрооборудования в сети выше 1000 В
										■	■	■	■	Расчет схемы электроснабжения цеха
											■	■	■	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В
												■	■	Расчет молниезащиты
													■	Расчет релейной защиты и автоматики
														Расчет эпюры отклонений напряжения
													Составление расчетно-пояснительной записки	
													Чертежные работы. Сдача технического задания	

Рисунок 6.1 – Календарный план выполнения проекта

1) Расчет зарплаты

Месячный должностной оклад научного руководителя

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 23300 \cdot (1 + 0,3 + 0,35) \cdot 1,3 = 49978,5 \text{ руб,}$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной сетке, руб;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент;

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент.

Среднедневная заработная плата

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{49978,5 \cdot 10,4}{247} = 2104,4 \text{ руб,}$$

где F_d – среднее количество рабочих дней в году в РФ за последние 5 лет;

M – количество месяцев без отпуска в течение года для шестидневной рабочей недели, дней.

Основная заработная плата научного руководителя с учетом фактически отработанных дней по проекту

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 2104,4 \cdot 9 = 18939,2 \text{ руб,}$$

где T_p – продолжительность работ по проекту, раб.дн.

Дополнительная заработная плата

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} = 18939,2 \cdot 0,12 = 2272,7 \text{ руб,}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Зарплата научного руководителя

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} = 18939,2 + 2272,7 = 21211,9 \text{ руб.}$$

Зарплата инженера рассчитывается аналогично. Дальнейший расчет приведен в таблице 6.6

Таблица 6.6 – Расчет заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб.дн	$Z_{осн}$, руб	$k_{доп}$	$Z_{доп}$, руб	$Z_{зп}$, руб
Руководитель	23300	0,3	0,35	1,3	49978,5	2104,4	9	18939,2	0,12	2272,7	21211,9
Инженер	14500	0,3	0,35	1,3	31102,5	1309,6	88	115242,9	0,12	13829,2	129072,1
Итого	–	–	–	–	–	–	–	134182,2	–	16101,9	150284,0

2) Материальные затраты

Таблица 6.7 – Затраты на материалы

Материалы	Количество	Цена за единицу, руб	И _м , руб
Флэш-память	1	800,0	800,0
Упаковка бумаги А4 500 листов	2	205,0	410,0
Канцтовары	–	600,0	600,0
Картридж для принтера	1	1750,0	1750,0
Итого З _{мат} , руб	–	–	3560,0

3) Амортизация основных фондов

Основной объем работы был произведен на персональных компьютерах.

$$I_{ам} = \frac{T_{исп.КТ}}{T_{кал}} \cdot C_{КТ} \cdot \frac{1}{T_{сл}} = \frac{47}{365} \cdot 25000,0 \cdot \frac{1}{5} = 602,7 \text{ руб,}$$

где $T_{исп.КТ}$ – время использования компьютерной техники на проект;

$T_{кал}$ – годовой действительный фонд рабочего времени используемого оборудования;

$C_{КТ}$ – первоначальная стоимость оборудования, руб;

$T_{сл}$ – срок службы компьютерной техники (время окупаемости 5 лет).

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 – Амортизация основных фондов

Оборудование	Стоимость, руб	Количество	T _э , дней	И _{ам} , руб
Компьютер	25000,0	1	44	602,7
Принтер	3500,0	1	9	17,3
Итого З _{ам} , руб	–	–	–	620,0

4) Отчисления во внебюджетные фонды (соц. страхование, пенсионный фонд, мед. страховка) в размере 30% от ФЗП

$$Z_{внеб} = K_{внеб} \cdot Z_{зп} = 0,3 \cdot 150284,0 = 45085,2 \text{ руб,}$$

где $K_{внеб}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

5) Контрагентные расходы (услуги связи, затраты на ремонт оборудования...) в размере 10% от фонда заработной платы, затрат на материалы, амортизации и отчислений на социальные нужды

$$\begin{aligned} Z_{контр} &= K_{контр} \cdot (Z_{зп} + Z_{м} + Z_{ам} + Z_{внеб}) = \\ &= 0,1 \cdot (150284,0 + 3560,0 + 620,0 + 45085,2) = 19954,9 \text{ руб,} \end{aligned}$$

где $K_{контр}$ – коэффициент отчислений на контрагентные расходы.

б) Накладные расходы (затраты на отопление, свет, обслуживание помещений...)

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{зп}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}}) =$$

$$= 0,16 \cdot (150284,0 + 3560,0 + 620,0 + 45085,2 + 19954,9) = 35120,7 \text{ руб,}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

7) Затраты на разработку проекта

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}} + Z_{\text{накл}} =$$

$$= 150,28 + 3,56 + 0,62 + 45,09 + 19,95 + 35,12 = 254,62 \text{ тыс.руб.}$$

Расчет бюджета затрат разработку проекта сведем в таблицу 6.9.

Таблица 6.9 – Бюджет затрат на выполнение проекта

№ статьи	Наименование статей расхода	Сумма, тыс.руб
1	Фонд заработной платы $Z_{\text{зп}}$	150,28
2	Материалы $Z_{\text{мат}}$	3,56
3	Амортизация основных фондов $Z_{\text{ам}}$	0,62
4	Внебюджетные отчисления $Z_{\text{внеб}}$	45,09
5	Контрагентные расходы $Z_{\text{контр}}$	19,95
6	Накладные расходы $Z_{\text{накл}}$	35,12
Цена проекта $Z_{\text{пр}}$		254,62

Из расчетов видно, что большую долю всех затрат из бюджета научно-технического исследования составляют заработные платы инженера и руководителя. Самые малые доли от общих затрат имеют материальные затраты и амортизационные отчисления. Все затраты проекта могут быть реализованы, так как оказались ожидаемы.

6.5 Выводы по разделу

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1) Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности.

Расчет показал, что продукция завода среднего машиностроения востребована в различных сегментах рынка. Мелкие компании и физические лица заинтересованы во всем спектре выпускаемой продукции. Остальные компании заинтересованы преимущественно в покупке автомобилей и их квалифицированном обслуживании.

2) Проведён анализ конкурентных технических решений.

Анализ конкурентных технических решений в сравнении с аналогичными предприятиями ООО «ГАЗ», «Автотор», показал, что рассматриваемое предприятие конкурентоспособно, по сравнению с предприятиями аналогичного профиля.

Наибольшие преимущества наблюдаются в энергоэффективности и функциональной мощности, а также в большем ассортименте сертифицированной продукции. Но продукция рассматриваемого предприятия имеет высокую цену по сравнению с продукцией конкурентов.

3) SWOT-анализ.

SWOT-анализ, который показывает слабые и сильные стороны предприятия, а также угрозы и возможности на рынке в целом и по отношению к конкурирующим организациям, в частности.

По результатам анализа можно сделать выводы, что предприятию необходимо сделать упор на рекламу своей продукции, анализировать действия новых игроков. Необходимо уметь подстраиваться под требования потребителя, изменяя технологический процесс и разрабатывая новый модельный ряд. Качественно решать вопросы внутренней политики предприятия – повышать квалификацию сотрудников, обеспечивать социальные потребности, поощрять, обеспечивать профессиональный рост. При этом явными преимуществами является удобное месторасположение, большие мощности, поддержка государства и хорошие связи с поставщиками.

4) Планирование выполнения работ по проекту.

Было произведено распределение обязанностей по выполнению проекта и рассчитано время, необходимое для выполнения работы. Общая продолжительность работ составила 88 дней. При этом инженер принимал участие в работе каждый день, а научный руководитель производил контроль работы и помогал при расчете наиболее ответственных разделов проекта.

5) Формирование бюджета затрат.

Также был сформирован бюджет затрат на разработку проекта, который составил 254,62 тыс.руб.

Расчет показал, что трудовые затраты составляют основную часть от стоимости разработки и составляют 150,28 тыс.руб. Минимальные затраты составляют материалы и амортизационные отчисления, в сумме около 4,2 тыс.руб.

Расходы по заработной плате определены по трудоемкости выполняемой работы и действующей системы окладов и тарифных ставок и составили: заработная плата руководителя – 21211,93 руб., заработная плата инженера – 129072,10 руб. В основную заработную плату внесена премия, которая выплачивается каждый месяц в размере 30 % от оклада.

Накладные и контрагентные расходы составили в сумме 55075,59 руб. Все затраты проекта могут быть реализованы, так как оказались ожидаемы.

В целом по работе можно сделать вывод, что проектируемое предприятие имеет высокий коммерческий потенциал, оно конкурентноспособно и перспективно, но в современных условиях требует постоянного совершенствования, обновления материальной базы и повышение профессионализма сотрудников.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А5Д1	Петягова Надежда Дмитриевна

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

**Электроснабжение завода среднего машиностроения с детальной проработкой
деревообрабатывающего цеха**

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Рабочая зона – деревообрабатывающий цех. Объектом исследования является электротехническое оборудование цеха</i>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p align="center">№426-ФЗ Трудовой кодекс РФ ГОСТ 12.0.003-2015; ГОСТ 12.1.005-88; СанПиН 2.2.4.3359-16; СП 60.13330.2016; ГОСТ 12.1.003-2014; ГОСТ Р 55710-2013; СП.52.13330.2016 ПУЭ; Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н; ПОТЭУ; ГОСТ 12.0.003-2015 ГОСТ 17.0.001-86 ГОСТ 17.2.1.01-86 ГОСТ 17.11.02-86</p>
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>1. - отклонение показателей микроклимата; - повышенный уровень шума; - повышенный уровень вибрации; - недостаточный уровень освещения; - электробезопасность; - движущиеся машины и механизмы. 2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия – это сохранение здоровья и жизни человека</p>

3. Экологическая безопасность:	При работе цеха происходит загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС на объекте – аварии, пожар, теракт, эпидемии, эпизоотии и эпифитотии, наводнения. Одной из наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в процессе эксплуатации электроэнергетического оборудования является возникновение пожара.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А5Д1	Петягова Надежда Дмитриевна		

7 Социальная ответственность

Человек подвергается воздействию опасности в своей трудовой деятельности. Эта деятельность осуществляется в пространстве, называемой производственной средой. В условиях производства на человека в основном действуют техногенные, то есть связанные с техникой, опасности, которые принято называть опасными и вредными производственными факторами.

Охрана труда определяется как система законодательных актов, социально-экономических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности в процессе труда.

Автозавод – крупнейший комплекс, в котором сосредоточено большое количество цехов. Выпуск автомобилей – сложный технологический процесс, который даже при серьезной автоматизации, задействует большое количество трудовых ресурсов. Необходимо обеспечивать комфортные и безопасные условия труда сотрудникам предприятия.

В данной работе рассмотрен деревообрабатывающий цех автозавода. Рассмотрены опасные и вредные факторы, которым подвержен персонал данного цеха, а также методы уменьшения воздействия этих факторов.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Право на безопасный труд закреплено в Конституции Российской Федерации. Сферы деятельности и специальности, связанные с вредными условиями труда, указываются в Федеральном законе РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда».

Обеспечение льготами и компенсациями осуществляется согласно Трудовому кодексу РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций».

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ.

К работе с электроустановками допускают лиц не моложе 18 лет и прошедших инструктаж и обучение по безопасным методам труда, проверку знаний ПТБ и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе с присвоением соответственной группы по электробезопасности.

Эксплуатацию электросетей и установок в деревообрабатывающем цехе может осуществлять только персонал с группой не ниже II.

Первым является назначение лиц, ответственных за организацию и безопасность производственных работ; организация надзора за проведением работ; осуществление допуска к производственным работам; оформление окончания работы, перерывов в работе.

При выполнении работ в ЭУ со снятием напряжения мероприятиями являются: отключение ЭУ от источника питания; проверка отсутствия напряжения; заземления фаз; механическое запираение приводов коммутационных приборов и аппаратов; снятие предохранителей; отсоединение концов питающих линий и другие мероприятия, исключающие случайную возможность подачи напряжения к месту работы; заземление токоведущих частей; ограждение рабочего места и оставшихся под напряжением токоведущих частей, к которым возможно приближение или прикосновение в процессе работы.

Порядок их реализации зависит от вида выполняемых работ в электроустановках.

7.2 Производственная безопасность

Анализ опасных и вредных производственных факторов.

Основные факторы с местом их возникновения и нормами изложены в ГОСТ 12.0.003-2015 и сведены в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Основные опасные и вредные факторы.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 [31]; СанПиН 2.2.4.3359-16 [32]; СП 60.13330.2016 [33]
2. Повышенный уровень шума	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 [34]; СанПиН 2.2.4.3359-16 [32]
3. Повышенный уровень вибрации	+	+	+	ГОСТ 12.1.012 – 2004 [35]; СанПиН 2.2.4.3359-16 [32]
4. Недостаточный уровень освещения		+	+	ГОСТ Р 55710-2013 [36] СП.52.13330.2016 [37]
5. Электробезопасность		+	+	ГОСТ 12.1.038 – 82 [38]; ПУЭ [6]; Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н [40]; ПОТЭУ [41]
6. Механические травмы		+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 [42]

Отклонение показателей микроклимата

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

Микроклимат производственных помещений, в основном, влияет на тепловое состояние организма человека и его теплообмен с окружающей средой.

Несмотря на то, что параметры микроклимата производственных помещений могут значительно колебаться, температура тела человека остается постоянной. Нормальное протекание физиологических процессов в организме возможно лишь тогда, когда выделяемое организмом тепло непрерывно отводится в окружающую среду.

Отдача теплоты организмом человека во внешнюю среду происходит тремя основными способами: конвекцией, излучением и испарением.

Снижение температуры при всех других одинаковых условиях приводит к росту теплоотдачи путем конвекции и излучения и может привести к переохлаждению организма.

При высокой температуре практически все тепло, которое выделяется, отдается в окружающую среду испарением пота. Если микроклимат характеризуется не только высокой температурой, но и значительной влажностью воздуха, то пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожи.

Недостаточная влажность приводит к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек, их пересыханию и эрозии, загрязнению болезнетворными микробами. Вода и соли, выделяемые из организма потом, должны замещаться, поскольку их потеря приводит к сгущиванию крови и нарушению деятельности сердечно-сосудистой системы.

Повышение скорости движения воздуха способствует усилению процесса теплоотдачи конвекцией и испарением пота. Длительное влияние высокой температуры в сочетании со значительной влажностью может привести к накоплению тепла в организме и к гипертермии состоянию, при котором температура тела повышается до 40...38 °С.

При низкой температуре, значительной скорости и влажности воздуха возникает переохлаждение организма (гипотермия). Вследствие воздействия низких температур могут возникнуть холодовые травмы. Параметры микроклимата оказывают также существенное влияние на производительность труда и на травматизм.

Допустимые величины показателей микроклимата, таблица 7.2, устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины, таблица 7.3.

Таблица 7.2 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, φ %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин $t_{\text{опт}}$				Если $t^{\circ} < t^{\circ}_{\text{опт}}$	Если $t^{\circ} > t^{\circ}_{\text{опт}}$
Холодный	IIa	17,0 – 18,9	21,1 – 23,0	16,0 – 24,0	15 – 75	0,1	0,3
Теплый	IIa	18,0 – 19,9	22,1 – 27,0	17,0 – 28,0	15 – 75	0,1	0,4

Таблица 7.3 – Оптимальные нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, φ %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	IIa	19,0 – 21,0	18,0 – 22,0	60 – 40	0,2
Теплый	IIa	20,0 – 22,0	19,0 – 23,0	60 – 40	0,2

В деревообрабатывающем цехе параметры микроклимата поддерживаются системой отопления (в зимний период) и вентиляцией (круглогодично). Нормы производственной вентиляции установлены согласно СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Повышенный уровень шума

Большинство деревообрабатывающих станков в действии создает сильный шум. Длительное воздействие шума на организм человека вредно отражается на его здоровье, расстраивает нервную систему, вызывает общее утомление, приводит к глухоте, ухудшает зрение, притупляет способность к ориентации и наблюдению при обслуживании оборудования.

К основным причинам создания шума и сотрясений деревообрабатывающих станков относятся:

- способы обработки древесины (пиление, строгание, фрезерование, измельчение), форма и размеры режущих инструментов;
- большая скорость движения (вращения) рабочих органов с режущими инструментами и неудачное их расположение относительно других частей станка;
- геометрическая неточность, наличие зазоров и недостаточная жесткость в сопряжениях конструктивных элементов станка;

- биение вращающихся рабочих органов (валов, шпинделей, суппортов, шкивов) и режущих инструментов из-за неуравновешенности;
- отсутствие звукоизолирующих покрытий в оградительных устройствах и стружко-пылеприемниках у режущих инструментов;
- отсутствие в передаточных механизмах станков малошумных шевронных и косозубовых колес, роликовых цепей, бесшовных приводных ремней, антифрикционных износостойчивых материалов;
- ненадежное устройство фундаментов и отсутствие виброизолирующих демпфирующих прокладок;
 - нерациональная форма режущих инструментов с острыми гранями, прорезьями, щелями, большим числом резцов, намного выступающих за пределы корпуса инструмента.

Общие требования безопасности приведены в ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности». Шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значение которых приведены в СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». Общие требования по шумовой безопасности сведены в таблицу 7.4.

Таблица 7.4 – Общие требования по шумовой безопасности

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах с среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места в производственных помещениях	110	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Качество современных станков и машин во многих случаях определяется по уровню их шума во время работы. Устранять источники шума деревообрабатывающего оборудования необходимо в стадии его конструирования и изготовления.

Снижение уровня шума деревообрабатывающего оборудования можно достигнуть в основном путем применения дереворежущих инструментов рациональной конструкции, тщательной балансировки инструментов и рабочих органов – валов, шпинделей, суппортов. Важное значение имеет установка оградительных устройств режущих инструментов и пылеприемников, покрытых слоем звукоизолирующего материала, и применение демпфирующих прокладок в элементах конструкций станка. Снижению шума будет также способствовать использование моторизованного привода механизма резания станков.

Работающие в деревообрабатывающем цехе для предотвращения вредного действия производственного шума на органы слуха должны пользоваться средствами индивидуальной защиты. Для этого могут быть использованы противозумные наушники и противозумные вкладыши «Беруши».

Повышенный уровень вибрации

При эксплуатации деревообрабатывающего оборудования возникают значительные вибрации, негативно влияющие на технико-экономические и санитарно-гигиенические показатели деревообрабатывающего цеха.

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием, ГОСТ 12.1.012 – 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий», СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». Общие требования по вибрационной безопасности для электротехнического персонала сведены в таблицу 7.5.

Таблица 7.5 – 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

Влияние вибрации проявляется в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Так же вибрация может привести к появлению нервных заболеваний, нарушению функций сердечно-сосудистой системы, нарушению функций опорно-двигательного аппарата, поражению мышечных тканей и суставов, нарушению функций органов внутренней секреции.

Пути повышения вибрационного качества станков:

- уменьшения расстояния от центра масс до основания;
- увеличение общей массы приведения;
- уменьшение массы и размеров движущихся или вращающихся деталей станка, в частности, режущего инструмента;
- снижение сил резания и подачи;
- повышение жесткости деталей, испытывающих максимальные нагрузки от сил резания и подачи.

Недостаточный уровень освещения

Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам, предусмотренным СП.52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».

Требования к освещению для рабочих мест указаны в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Нормы освещённости помещений цеха

Наименование помещения	$E_{экс}$, лк	U_0 , не менее	UGR, не более	R_a , не менее	K_p , %, не более
Механизованная деревобработка: обточка, обрезка, шлифовка, нарезка, пилка	500	0,60	19	80	10

где $E_{экс}$ – эксплуатационная освещенность;

U_0 – равномерность освещенности;

UGR – объединенный показатель дискомфорта;

R_a – общий индекс цветопередачи;

$K_{п}$ – коэффициент пульсации освещенности.

В цехе предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное.

В деревообрабатывающем цехе максимально эффективно используется естественное освещение. В качестве источников искусственного освещения применяются светодиодные лампы.

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники, показывающие выход. Аварийное освещение представляет около 10% от общего освещения. Аварийное и эвакуационное освещение запитаны от независимых источников питания.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В. Светильники подключаются с помощью штепсельной розетки, которая размещена в отдельном корпусе вместе с трансформатором 220/36В.

Электробезопасность

Электрический ток при несоблюдении правил и мер предосторожности может оказывать на людей опасное и вредное воздействие, выражающееся в виде электротравм (ожоги механические повреждения), электроударов и профессиональных заболеваний.

Основными документами, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.038- 82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов», Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н, Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.

В деревообрабатывающем цехе большое количество станочного оборудования. В процессе его эксплуатации существует большая вероятность получить поражение электрическим током.

К средствам коллективной защиты от поражения электрическим током относятся:

1. Защитное заземление.
2. Зануление.
3. Защитное отключение.
4. Применение низких напряжений.
5. Двойная изоляция.
6. Оградительное устройство.
7. Сигнализация, блокировка, знаки безопасности, плакаты.
8. Применение дифференциальной защиты.

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;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

Движущиеся машины и механизмы

Основными причинами травматизма в деревообрабатывающем цехе являются: не исполнение инструкции по технике безопасности, неправильная расстановка оборудования, отсутствие или несовершенство ограждений, неудовлетворительное состояние пусковой аппаратуры и недостаточный надзор за выполнением правил техники безопасности со стороны администрации.

Классификация опасных и вредных производственных факторов, обладающих свойствами физического воздействия на организм человека представлена в ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Правильная организация работ, постоянный надзор за работающими со стороны производителя работ и соблюдение рабочими техники безопасности значительно снижает получение травм. При необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала – предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация.

7.3 Экологическая безопасность

Технологические процессы деревообрабатывающего цеха связаны с выделением в окружающую среду вредных, веществ.

К основным источникам загрязнения атмосферного воздуха в деревообрабатывающем цехе относятся: выделение паров растворителей и разбавителей, формальдегида, оксида углерода, оксидов азота, аммиака. В процессе получения и обработки пиломатериалов в атмосферу поступает значительное количество древесной пыли.

Меры борьбы:

- минимизировать применение летучих вредных веществ;
- для очистки воздуха внутри помещения и выбрасываемого наружу, используются воздухоочистительные фильтры;
- применение установок типа «Циклон» для очистки воздуха от сухой пыли.

Основное загрязнение сточных вод в деревообрабатывающем цехе создают взвешенные и растворенные органические вещества. В стоках содержатся: волокна древесины; коллоидные вещества; растворенные органические вещества; растворимые и нерастворимые химикалии.

Меры борьбы:

- введение на производстве системы сбора сточных вод и рециркуляции замкнутого цикла;

- разделение ливневых стоков с участков, задействованных в производственном процессе, от ливневых стоков с участков, не задействованных в производственном процессе;
- внедрение очистки технологических сточных вод водоочистными методами: физическими (осаждение, фильтрация, мембранная фильтрация), а также химическими или биологическими методами.

Основными промышленными отходами деревообрабатывающего цеха служат древесные отходы. Данные отходы передаются на вторичную переработку другим предприятиям (производство ДСП, ДВП, брикетов для растопки печей).

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, пожар, теракт, эпидемии, эпизоотии и эпифитотии, наводнения.

Наиболее вероятным чрезвычайным происшествием на заводе 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 22.07.2013 г. №123 – ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

В процессе производства изделий из дерева образуется мелкодисперсная легковоспламеняющаяся пыль, которая способна образовать с воздухом взрывоопасную смесь. Кроме этого, при нанесении покрытий напылением возникает высокий риск взрыва используемого растворителя. Так же у пропитанного маслами и органическими веществами древесного материала повышается степень возгорания.

Риск взрыва и возгорания можно свести к минимуму за счет принятия мер по предупреждению накопления пыли:

- регулярная уборка в производственных помещениях;
- устранение из рабочей среды всех источников возгорания;
- изоляция или устранение источников открытого огня, таких, как паяльные лампы;

- обеспечение безопасной работы и повышенная осторожность при работе с химическими веществами, способных саморазогреться или самовозгораться;
- установка на предприятии искровых детекторов и дренчерных систем пожаротушения в оборудовании для пылеподавления;
- в целях предотвращения возникновения разрядов статического электричества произвести электрическое заземление конвейеров;
- обеспечение предприятия надлежащим, желательно легкодоступным противопожарным оборудованием, в том числе автоматическими;
- обязательное обучение всех работников порядку аварийной эвакуации и приемам первичного пожаротушения.

7.5 Выводы по разделу

Деревообрабатывающий цех потенциально опасное место для пребывания сотрудников предприятия. Ис пользование огромного количества разнообразного оборудования, начиная от мелкого ручного инструмента и заканчивая сложным станочным оборудованием создает угрозу безопасной трудовой деятельности.

В ходе работы были рассмотрены способы обеспечения комфортного и безопасного пребывания персонала на рабочих местах. Были выявлены опасные и вредные факторы и методы борьбы с ним или методы их минимизации.

Так же была рассмотрена экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях.

В результате создания системы производственной безопасности в деревообрабатывающем цехе улучшаются условия труда, повышается его безопасность, что приводит к снижению уровня профессиональных заболеваний и улучшению удовлетворенности работников данного участка.

Заключение

Целью работы было осуществление электроснабжения электроприёмников деревообрабатывающего цеха завода среднего машиностроения и всего предприятия в целом.

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 выполнена самонесущим изолированным проводом марки СИП-3 с прокладкой на железобетонных опорах. Питание высоковольтных двигателей осуществлено кабельными линиями с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвВнг, проложенными в коробах. Питание осуществлено по радиальным линиям.

По результатам расчета короткого замыкания проводники 10 кВ были проверены на термическую стойкость, а медный экран кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена по допустимому току короткого замыкания.

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 четырехжильными кабелями с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией марки АВВГ, с прокладкой по лоткам и в коробах. Защита электроприемников и кабельных линий осуществляется автоматическими выключателями марки ВА.

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.

По проводимым в процессе расчётов проверкам, по карте селективности и по эпюрам отклонения напряжения можно сделать вывод, что данная модель электроснабжения цеха и всего предприятия в целом надёжна и пригодна к эксплуатации.

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. Владимир [Электронный ресурс]. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Владимир>
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. СНиП 23-01-99 Строительная климатология
6. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство 2011, о г.
7. Владимирская область [Электронный ресурс]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Владимирская_область
8. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
9. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: Учеб. пособие – Томск: Изд-во ТПУ 2006.
10. Электроснабжение промышленных предприятий: методические указания/ А.И. Гаврилин, С.Г. Обухов, А.И. Озга – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.
11. Климова Г.Н. Специальные вопросы электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие/ Г.Н. Климова, А.В. Кабышев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
12. Конденсаторные установки УКМ 58 [Электронный ресурс]. – <http://khomovelectro.ru/catalog/kondesatornye-ustanovki/kondensatornye-ustanovki-ukm-58.html>
13. Провода самонесущие изолированные СИП-1, СИП-2, СИП-3, СИП-4 [Электронный ресурс]. – <https://all-energo.ru/store/kpp/provod/sip>

14. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
15. Справочник по проектированию электроэнергетических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.
16. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство 2011, г.
17. 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.
18. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – 3-е изд., М.: Энергоатомиздат, 1987.
19. Выбор сечений изолированных проводов СИП [Электронный ресурс]. – <https://docplayer.ru/60629224-Vybor-secheniy-izolirovannyh-provodov-sip.html>
20. АПВВнг [Электронный ресурс]. – https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/apvvng-ls_kamkabel/
21. 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/>
22. СТО 56947007-29.240.30.010-2008 СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ ОАО «ФСК ЕЭС».
23. Вакуумные выключатели серии ВВУ-35. [Электронный ресурс]. – <http://www.etk-oniks.ru/Vyklyuchateli-vysokovoltnye/VVU-35.html>
24. Выключатель элегазовый ВГТ-110. [Электронный ресурс]. – <http://www.energospes.ru/catalog/product/497>
25. 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.

26. Мельников М.А. Внутрицеховое электроснабжение: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002.
27. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч. 2 Расчет токов короткого замыкания в электроустановках д1000 о В: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.
28. Мельников М.А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. - 178 с.
29. Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда».
30. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001. №197-ФЗ// принят ГД ФС РФ 21.12.2001
31. ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
32. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»
33. СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».
34. ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности».
35. ГОСТ 12.1.012 – 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования».
36. ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».
37. СП.52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
38. ГОСТ 12.1.038 – 82 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»
39. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»
40. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н, Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.

41. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.
42. ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».