

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электроснабжение Павловского машиностроительного завода

УДК 658.26

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А5Д1	Казаченко Дмитрий Владимирович		26.05.2020

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тарасов Е.В.	к.т.н., доцент		26.05.2020

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		26.05.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.	—		26.05.2020

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		26.05.2020

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 <i>электроэнергетической</i> 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

_____ «26» мая 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
3-5А5Д1	Казаченко Дмитрий Владимирович

Тема работы:

Электроснабжение Павловского машиностроительного завода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 27.02.2020г. №58-25/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	26 мая 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. Выбор защитных аппаратов и сечений линий, питающих распределительные пункты и электроприемники 4. Построение эпюры отклонения напряжения 5. Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В 6. Построение карты селективности действия аппаратов защиты 7. Определение расчетной нагрузки предприятия 8. Картограмма и определение центра электрических нагрузок

	9. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов 10. Компенсация реактивной мощности 11. Схема внутривозвратной сети выше 1000 В 12. Схема внешнего электроснабжения 13. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В 14. Выбор и проверка оборудования в сети выше 1000 В 15. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 16. Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схема силовой сети цеха 2. Принципиальная схема КТП 3. Однолинейная схема РП 4. Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности 5. Картограмма нагрузок 6. Схема электрическая принципиальная 7. Распределительная сеть
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
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	Тарасов Е.В.	к.т.н., доцент		01.02.2020

Ассистент:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А5Д1	Казаченко Дмитрий Владимирович		01.02.2020

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:	26.05.2020
--	------------

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	Тарасов Е.В.	к.т.н., доцент		01.02.2020

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		01.02.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа 136 с., 18 рис., 44 табл., 42 источника, 7 прил.

Ключевые слова: электрооборудование, схема электроснабжения, линия, сеть, электроприемник, нагрузка, оборудование, защита, ток, напряжение, электроэнергия, авиация, авиастроение, станок, привод.

Объектом исследования является электрическая часть Павловского машиностроительного завода.

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;

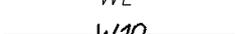
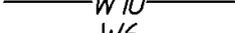
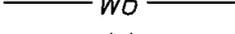
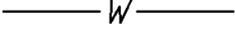
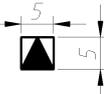
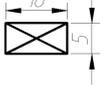
РУнн – распределительное устройство низкого напряжения, ниже 1000 В;

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 ремонтно-механического цеха	24
2.1 Распределение приёмников по пунктам питания и определения расчётной электрической нагрузки цеха	24
2.2 Расчет питающей и распределительной сети. Выбор защитных аппаратов	36
2.3 Проверка сети по условию допустимой потери напряжения	47
2.4 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В	52
2.5 Построение карты селективности действия аппаратов защиты	55
2.6 Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ	57
3 Определение расчетной нагрузки предприятия	60
4 Картограмма электрических нагрузок	64
5 Схема внутризаводского электроснабжения	68
5.1 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	68
5.2 Компенсация реактивной мощности	73
5.3 Схема внутризаводской распределительной сети выше 1000 В	75
6 Схема внешнего электроснабжения	80
6.1 Выбор трансформаторов ГПП	80
6.2 Выбор схемы внешнего электроснабжения	81
7 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	84

8 Выбор силового оборудования	89
8.1 Выбор выключателей и разъединителей	89
8.2 Выбор измерительных трансформаторов тока	91
8.3 Выбор измерительных трансформаторов напряжения	94
8.4 Выбор ограничителя перенапряжения	96
8.5 Выбор трансформаторов собственных нужд	96
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	97
9.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта	98
9.2 Анализ конкурентных технических решений	99
9.3 SWOT-анализ	101
9.4 Планирование выполнения работ по проекту и формирование бюджета проектной работы	103
9.5 Выводы по разделу	109
10 Социальная ответственность	111
10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	113
10.2 Производственная безопасность	115
10.3 Экологическая безопасность	121
10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	122
10.5 Выводы по разделу	123
Заключение	124
Список использованных источников	126
Приложение А ДП-ФЮРА.3710000.092.Э4 Схема силовой сети ремонтно-механического цеха	130
Приложение Б ДП-ФЮРА.3710000.093.Э4 Принципиальная схема комплектной трансформаторной подстанции	131
Приложение В. ДП-ФЮРА.3710000.094.Э4 Однолинейная схема распределительного пункта ПР1	132
Приложение Г. ДП-ФЮРА.3710000.095.Э4 Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности	133

Приложение Д. ДП-ФЮРА.3710000.096.Э4 Картограмма электрических нагрузок	134
Приложение Е. ДП-ФЮРА.3710000.097.Э4 Схема электрическая принципиальная	135
Приложение Ж. ДП-ФЮРА.3710000.098.Э4 Распределительная сеть	136

Введение

Работа всех отраслей промышленности в настоящее время неразрывно связана с использованием электроэнергии, получаемой от электрических станций. Все шире применяется электроэнергия на транспорте, в сельском хозяйстве, в быту – для освещения, кондиционирования воздуха и др.

Остановимся на некоторых важных особенностях электроэнергетики применительно к системам электроснабжения промышленных предприятий:

1. Одновременность процессов производства, распределения и потребления электроэнергии приводит к тому, что нельзя произвести электроэнергию, не имея потребителей для нее: выработка электроэнергии жестко определяется потреблением и наоборот. При этом следует отметить, что преобразование, распределение и потребление электроэнергии на всех уровнях системы электроснабжения происходит с потерями, которые необходимо учитывать.

2. Быстрота протекания переходных процессов требует обязательного применения в системе электроснабжения специальных автоматических устройств. Основное назначение этих устройств – обеспечение функционирования системы электроснабжения, заключающееся в передаче электроэнергии от источника к месту потребления в необходимом количестве и соответствующего качества.

Технологические особенности промышленных предприятий различных отраслей промышленности заключаются в неравномерности процесса производства, развитии и изменении технологического процесса, увеличении электроемкости, обуславливают различия в принимаемых проектных решениях по системам электроснабжения.

Приведенные особенности позволяют рассматривать электроснабжение предприятия как самостоятельную подсистему в системе производства.

В данной работе будет произведен расчет электроснабжения Павловского машиностроительного завода в соответствии со всеми установленными правилами расчета электроснабжения промышленного предприятия. Так же будет приведен расчет ремонтно-механического цеха данного предприятия.

1 Общие сведения об объекте электроснабжения

1.1 Роль предприятия в хозяйственной деятельности

История АО «Павловский машиностроительный завод» – одного из ведущих предприятий авиационной промышленности России, началась более 65 лет назад, 12 июля 1946 года. Тогда министр авиационной промышленности перевел в г. Павлово из г. Свердловска ОКБ-28 для создания на его базе нового опытно-конструкторского бюро – ОКБ-467.

С середины 2000-х АО "ПМЗ" расширяет свое участие в космических программах. Идет освоение и опытная поставка рулевых приводов для российского ракетоносителя "Ангара", использующего в качестве ракетного топлива керосин.

В настоящее время АО "ПМЗ" проводит техническую политику по новым программам, основанную на интеграции электрогидравлических и электронных компонентов привода, то есть разработку и поставку электрогидравлических агрегатов вместе с электронными блоками управления – контура привода в целом.

В секторе гражданского авиастроения АО "ПМЗ" участвует в программе создания российского среднемагистрального пассажирского самолета МС-21 компании "Иркут" в качестве разработчика и интегратора системы управления поворотом колес передней опоры шасси самолета. Кроме того, предприятие разработало и изготавливает опытные образцы цилиндров с датчиками обратной связи для перспективного двигателя ПД-14, разрабатываемого ОАО "Авиадвигатель" для установки на самолет МС-21 в качестве альтернативы американскому Pratt&Whitney.

В сегодняшних условиях глобализации авиакосмического рынка, как никогда остро стоит вопрос сохранения конкурентоспособности предприятия в тех областях, где имеется большой объем накопленных знаний и научно-производственный задел. Прекрасно понимая необходимость дальнейшего развития предприятия, акционеры за последние годы инвестировали десятки миллионов долларов в модернизацию производства- как в механообрабатывающее оборудование, так и испытательное.

АО "ПМЗ" продолжает придерживаться принципов поступательного развития и поддерживает тесное и плодотворное сотрудничество с головными разработчиками авиационно-космической техники России и зарубежья, а также представителями различных промышленных отраслей.

1.2 Технологический процесс

Машиностроение является ведущей отраслью современной промышленности. Значение машиностроения в народном хозяйстве определяется тем, что оно создает один из важнейших элементов производительных сил – орудия труда.

В силу разнообразных орудий производства и общественного разделения труда машиностроение подразделяется на отдельные отрасли, из которых главными являются: станкостроение, тяжелое машиностроение, транспортное, энергетическое, сельскохозяйственное, атомное.

В каждой отрасли машиностроения существуют свои специфические технологические методы и приемы, однако в целом для машиностроения характерна общность сырьевых материалов (черные и цветные металлы, их сплавы) и идентичность основных технологических принципов превращения их в детали (литье, ковка, штамповка, обработка резанием), а деталей в изделие (сварка, сборка).

В производственных процессах машиностроения используются основные принципы рациональной организации производства.

На машиностроительных заводах различают следующие основные цехи:

- заготовительные: чугунолитейный, сталелитейный, кузнечнопрессовый;
- обрабатывающие: механический, термический;
- выпускающие продукцию: сборочный.

Организация промышленного производства построена по одному из принципов – технологическому, предметному или смешанному. Вышеприведенное разделение основных цехов присуще при технологическом принципе организации производства.

При предметном принципе организации производства оборудование для изготовления конкретных деталей или сборочных единиц сосредотачивается в отдельных цехах предприятия.

При смешанном принципе – в отдельных цехах проводится обработка технологически однородных частей и выполнение однотипных технологических процессов и операций.

В остальном структура машинного производства мало чем отличается от других производств, т.е. есть вспомогательные цехи и побочные цехи, различные службы и хозяйства, органы управления предприятием, которые осуществляют организацию производственного процесса и его контроль, обеспечивают разработку технической документации и технологической оснастки, бухгалтерский учет, сбыт готовой продукции.

Таким образом, машиностроительное предприятие представляет собой совокупность ряда производств, связанных единым технологическим процессом. В зависимости от масштабов производства, возможностей кооперирования с другими предприятиями и от ряда других технико-экономических условий машиностроительный завод либо сам осуществляет весь технологический процесс, т.е. изготавливает все детали машины и производит ее сборку, либо изготавливает лишь основные узлы машины, а детали и полуфабрикаты (литье, поковки) получает с других специализированных предприятий и в своих цехах производит только их обработку и последующую сборку.

Технологическая схема машиностроительного завода, следующая: сырье и топливо из шихтарных дворов, где их хранят и соответствующим образом подготавливают для производства поступают в литейные цехи, производящие отливки. Полученное литье направляют в механический цех, туда же поступают и заготовки, изготовленные ковкой и штамповкой в кузнечнопрессовом цехе. В механическом цехе производят дальнейшую обработку заготовок резанием на различных металлорежущих станках. Кроме обработки литых и кованных заготовок на металлорежущих станках изготавливают детали из проката. Детали, требующие термической обработки, направляют в термический цех.

Готовые детали из механического цеха направляются в сборочный цех, куда поступают готовые детали их других цехов. Механические и сборочные цехи часто располагаются в одном здании, что сокращает расходы на внутризаводскую транспортировку деталей и узлов. Наиболее распространенными процессами в машиностроении являются литье, прокатка, волочение и прессование, ковка штамповка сварка, процессы механической обработки (обработка резанием).

1.3 Инженерные изыскания

1.3.1 Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности

Город Павлово расположен в северо-западной части Приволжской возвышенности. Географические координаты объекта $55^{\circ}57'43''$ с.ш. $43^{\circ}05'24''$ в.д. [2].

Павлово находится в часовой зоне МСК. Смещение применяемого времени относительно UTC составляет +3:00 [2].

Рельеф городской территории Павлова холмистый, с развитой овражно-балочной сетью. Город стоит на семи холмах. Центральная часть города расположена в понижении между холмами. Высота над уровнем Балтийского моря: 120 метров [2].

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

Почвы, которыми представлен покров территории г. Павлово могут быть отнесены к подзолистым, серым лесным и чернозёмам [4].

1.3.2 Инженерные изыскания по климатическим условиям местности

Климат умеренно континентальный, с холодной зимой и тёплым летом [2].

Годовое количество осадков – 550-650 мм [2].

Температура воздуха наиболее холодных суток -38°C . Абсолютная минимальная температура воздуха -41°C . Абсолютная максимальная температура воздуха $+36^{\circ}\text{C}$. Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца $+23,5^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура $+3,6^{\circ}\text{C}$ [5].

Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе: 84-875 МДж/м². Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на вертикальную поверхность при безоблачном небе: 93-673 МДж/м² [5].

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

Среднегодовая продолжительность гроз: от 40 до 60 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	2	3	4	5
1 Литейный цех	II	0,38	Жаркая	3800
2 Заводоуправление	III	0,38	Нормальная	150
3 Ремонтно-механический цех	III	0,38	Нормальная	–
4 Энергоцех	III	0,38	Жаркая	200
5 Кузнечный участок	II	0,38	Жаркая	700
6 Котельная	II	0,38	Нормальная	250
7 Цех №2	II	0,38	Нормальная	3000
8 АБК 2	III	0,38	Нормальная	400
9 СГП	III	0,38	Нормальная	20
10 Легковой гараж	III	0,38	Нормальная	20
11 Цех №5	II	0,38	Нормальная	2800
12 ОКС	III	0,38	Нормальная	100
13 Склад	III	0,38	Нормальная	20
14 РМЦ	III	0,38	Нормальная	50
15 Компрессорная	II	0,38	Жаркая	1000
16 ТГЦ	II	0,38	Нормальная	3500

окончание таблицы 1.1

17 БВК	III	0,38	Нормальная	20
18 РСУ	III	0,38	Нормальная	50
19 АБК 3	III	0,38	Сырая	150
20 Насосная	II	0,38	Нормальная	1000
21 ТПА	II	0,38	Нормальная	500
22 Сварочный участок	III	0,38	Нормальная	100
23 Транспортный цех	III	0,38	Нормальная	20
24 УТТ	III	0,38	Нормальная	50
25 Гараж	III	0,38	Нормальная	30
26 Лаборатория	III	0,38	Нормальная	100
27 Склад	III	0,38	жаркая	30
Источник питания L = 27 км	–	–	–	–

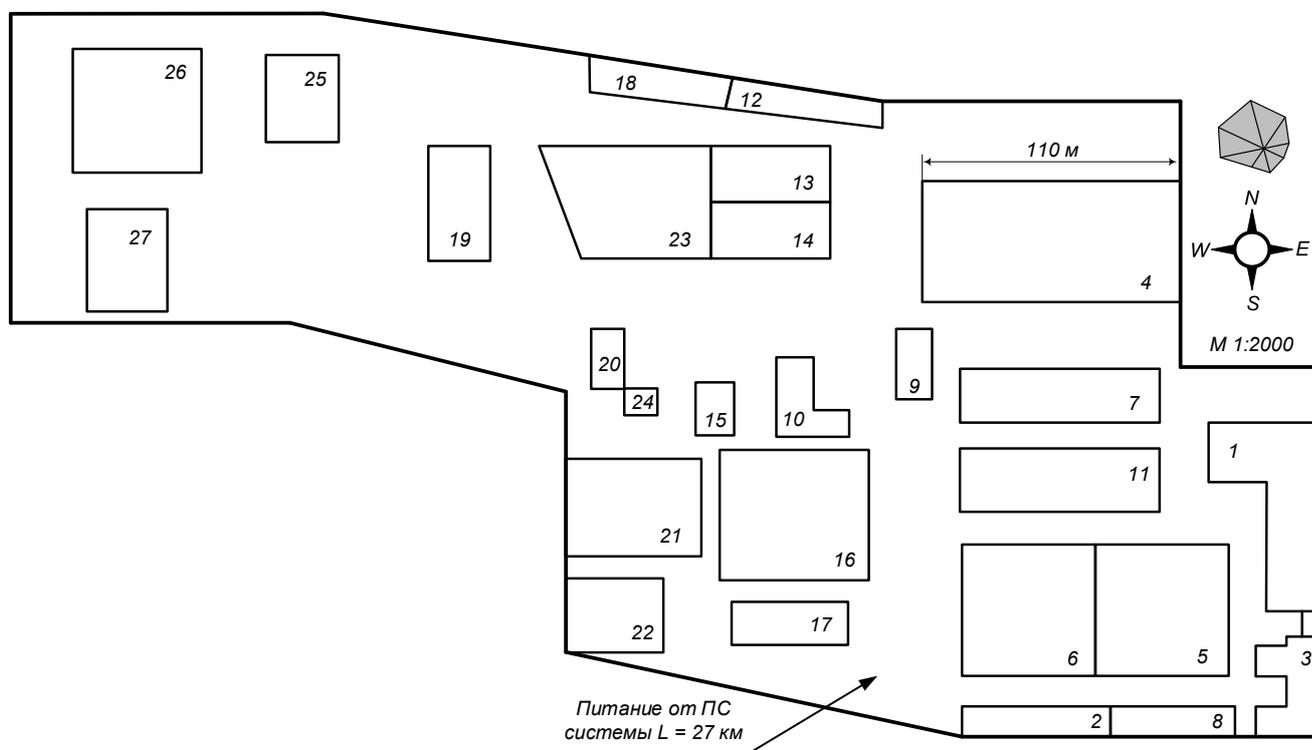


Рисунок 1.1 – Генплан предприятия

Таблица 1.2 – Сведения об электрических нагрузках ремонтно-механического цеха

Наименование	$P_{ном},$ кВт	$k_{исп}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$
1	2	3	4	5
1 Токарный станок	8,0	0,16	0,65	1,17
2 Токарный станок	6,5	0,16	0,65	1,17
3 Токарно-винторезный станок	16,3	0,16	0,65	1,17
4 Токарный станок	1,2	0,16	0,65	1,17
5 Токарный станок	1,2	0,16	0,65	1,17
6 Токарный станок	1,6	0,16	0,65	1,17
7 Токарный станок	1,2	0,16	0,65	1,17
8 Вертикально-сверлильный станок	2,0	0,16	0,65	1,17
9 Вертикально-сверлильный станок	8,2	0,16	0,65	1,17
10 Шкаф сушильный	24,0	0,70	0,95	0,33
11 Шкаф сушильный	24,0	0,70	0,95	0,33
12 Пресс гидравлический	5,7	0,25	0,65	1,17
13 Фрезерный станок	4,2	0,16	0,65	1,17
14 Фрезерный станок	4,2	0,16	0,65	1,17
15 Фрезерный станок	13,1	0,16	0,65	1,17
16 Фрезерный станок	6,2	0,16	0,65	1,17
17 Горизонтально-фрезерный станок	14,4	0,16	0,65	1,17
18 Вертикально-фрезерный станок	1,5	0,16	0,65	1,17
19 Вертикально-сверлильный станок	8,9	0,16	0,65	1,17
20 Вертикально-сверлильный станок	14,5	0,16	0,65	1,17
21 Токарно-револьверный станок	12,0	0,16	0,65	1,17
22 Токарно-револьверный станок	8,5	0,16	0,65	1,17
23 Токарно-револьверный станок	12,0	0,16	0,65	1,17
24 Токарный с гидрокопиром	13,4	0,16	0,65	1,17
25 Токарно-патронный станок	8,6	0,16	0,65	1,17
26 Токарно-патронный станок	8,6	0,16	0,65	1,17
27 Токарно-винторезный станок	11,9	0,16	0,65	1,17
28 Токарно-винторезный станок	11,9	0,16	0,65	1,17
29 Специально-сверлильный станок	25,3	0,16	0,65	1,17
30 Специально-сверлильный станок	37,0	0,16	0,65	1,17
31 Токарный станок	6,6	0,16	0,65	1,17
32 Токарный станок	1,6	0,16	0,65	1,17
33 Токарный 6-ти шпиндельный п/ав	35,0	0,16	0,65	1,17
34 Гидрокопировальный станок	7,5	0,16	0,65	1,17
35 Гидрокопировальный станок	7,5	0,16	0,65	1,17
36 Плоскошлифовальный станок	16,0	0,16	0,65	1,17
37 Круглошлифовальный станок	16,0	0,16	0,65	1,17
38 Резьбофрезерный станок	4,5	0,16	0,65	1,17
39 Горизонтально-фрезерный станок	1,6	0,16	0,65	1,17

окончание таблицы 1.2

1	2	3	4	5
40 Вертикально-фрезерный станок	2,8	0,16	0,65	1,17
41 Горизонтально-фрезерный станок	2,1	0,16	0,65	1,17
42 Горизонтально-фрезерный станок	4,6	0,16	0,65	1,17
43 Горизонтально-фрезерный станок	4,6	0,16	0,65	1,17
44 Плоскошлифовальный станок	7,6	0,16	0,65	1,17
45 Плоскошлифовальный станок	11,8	0,16	0,65	1,17
46 Шлифовальный станок	3,2	0,16	0,65	1,17
47 Шлифовальный станок	3,2	0,16	0,65	1,17
48 Шлифовальный станок	3,6	0,16	0,65	1,17
49 Обдирочно-шлифовальный станок	10,2	0,16	0,65	1,17
50 Обдирочно-шлифовальный станок	13,5	0,16	0,65	1,17
51 Токарно-винторезный станок	6,0	0,16	0,65	1,17
52 Токарно-винторезный станок	2,4	0,16	0,65	1,17
53 Токарно-винторезный станок	21,3	0,16	0,65	1,17
54 Токарно-винторезный станок	21,3	0,16	0,65	1,17
55 Компрессор	2,6	0,75	0,85	0,62
56 Радиально-сверлильный станок	22,4	0,16	0,65	1,17
57 Горизонтально-расточный станок	25,0	0,16	0,65	1,17
58 Токарно-винторезный станок	43,0	0,16	0,65	1,17
59 Токарно-винторезный станок	18,6	0,16	0,65	1,17
60 Токарно-винторезный станок	6,4	0,16	0,65	1,17
61 Токарно-винторезный станок	2,4	0,16	0,65	1,17
62 Токарно-винторезный станок	1,2	0,16	0,65	1,17
63 Сварочный аппарат	40,0	0,30	0,40	2,29
64 Вертикально-фрезерный станок	2,8	0,16	0,65	1,17
65 Горизонтально-фрезерный станок	9,7	0,16	0,65	1,17
66 Горизонтально-фрезерный станок	13,1	0,16	0,65	1,17
67 Горизонтально-фрезерный станок	13,1	0,16	0,65	1,17
68 Радиально-сверлильный станок	12,2	0,16	0,65	1,17
69 Горизонтально-расточный станок	15,5	0,16	0,65	1,17
70 Пресс механический	10,4	0,25	0,65	1,17
71 Вентилятор	12,0	0,80	0,80	0,75
72 Сварочный аппарат	40,0	0,30	0,40	2,29
73 Сварочный аппарат	40,0	0,30	0,40	2,29
74 Токарный станок	8,0	0,16	0,65	1,17
75 Токарный станок	6,5	0,16	0,65	1,17
76 Вентилятор	12,0	0,80	0,80	0,75
77 Вентилятор	12,0	0,80	0,80	0,75
78 Вентилятор	12,0	0,80	0,80	0,75

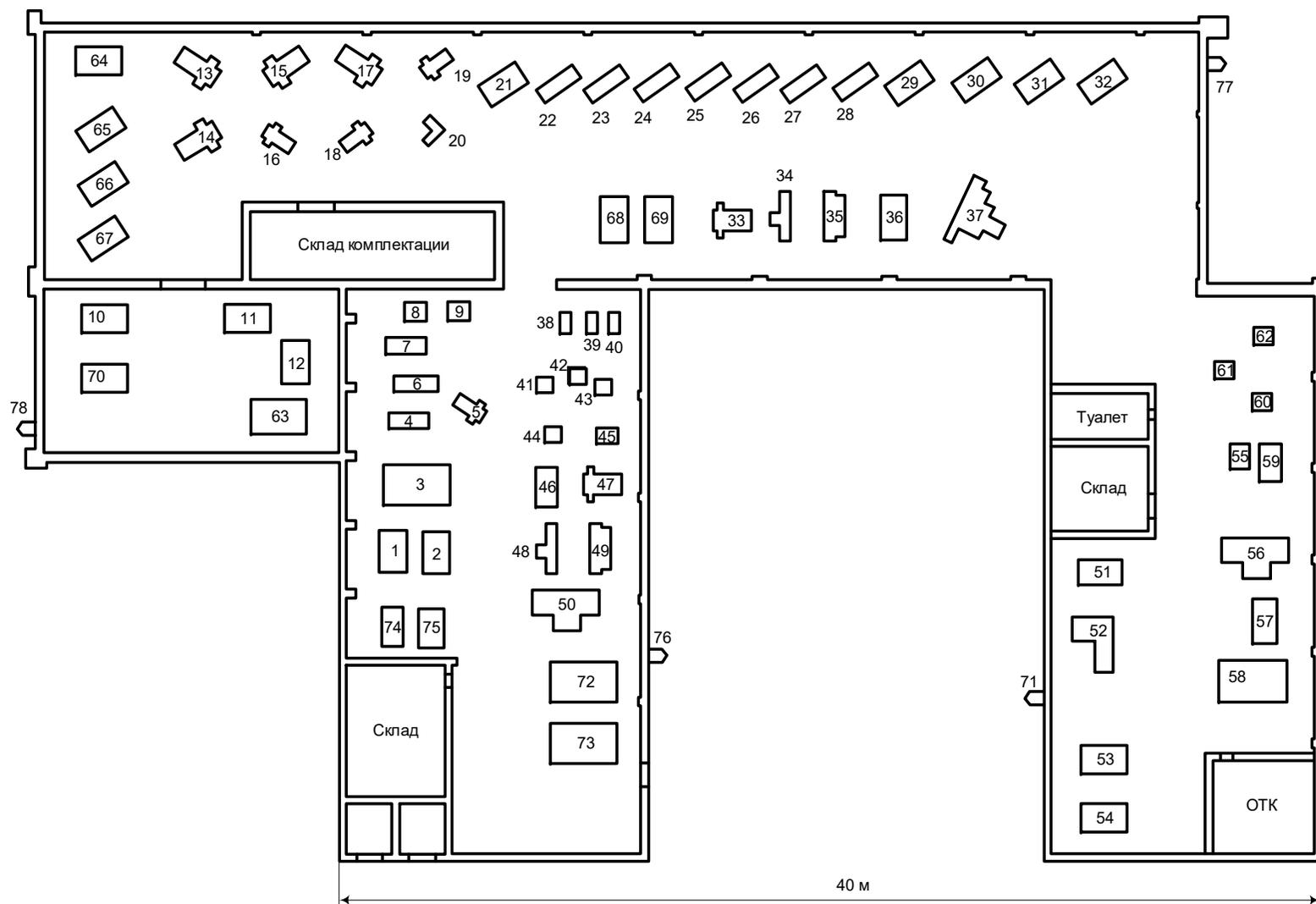


Рисунок 1.2 – План ремонтно-механического цех

2 Электроснабжение ремонтно-механического цеха

Расчёт электроснабжения блока проводим в следующей последовательности:

1. Приёмники распределяются по пунктам питания (силовым распределительным шкафом, пунктам или шинопроводам), выбирается схема и способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пункта питания). Принятая схема (радиальная магистральная, смешанная) сети должна обеспечивать требуемую надёжность электроснабжения и гибкость по технологическим условиям, универсальность сети при присоединении новых электроприёмников и перемещения приёмников по площади цеха. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учётом характера окружающей среды и возможных условий прокладки;

2. Определяются расчётные электрические нагрузки по узлам питания;

3. Производится выбор сечения питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверяем их по потере напряжения;

4. Производится выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты и управления цеха;

5. Для участка цеховой сети (от вводного автомата на подстанции до самого мощного электроприёмника) строится эпюра отклонений напряжения (для режимов максимальной и минимальной нагрузок), производится расчёт токов короткого замыкания и строится карта селективности действия аппаратов защиты.

2.1 Распределение приёмников по пунктам питания и определения расчётной электрической нагрузки цеха

Перед определением расчетной нагрузки цеха необходимо определить номинальные параметры электроприемников, а паспортные мощности электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы (ПКР) приводятся к $P_B = 100\%$, то есть к номинальной установленной мощности. Примеры расчета

Фрезерный станок

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{4,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,89} = 11,0 \text{ А,}$$

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{НОМ}} = 5 \cdot 11,0 = 55,2 \text{ А,}$$

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 аппарат

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

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

Шкаф сушильный

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi} = \frac{24,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 38,4 \text{ А.}$$

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	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$k_{\text{исп}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	η	$K_{\text{пуск}}$	$I_{\text{НОМ}}$, А	$I_{\text{пуск}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПР1 ПР11-7123									
Фрезерный станок	2	4,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	11,0	55,2
Фрезерный станок	1	13,1	0,16	0,65	1,17	0,89	5	34,4	172,0
Фрезерный станок	1	6,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	16,3	81,4
Горизонтально-фрезерный станок	1	14,4	0,16	0,65	1,17	0,89	5	37,8	189,1
Вертикально-фрезерный станок	1	1,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	3,9	19,7
Вертикально-сверлильный станок	1	8,9	0,16	0,65	1,17	0,89	5	23,4	116,9
Вертикально-сверлильный станок	1	14,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	38,1	190,4
Вертикально-фрезерный станок	1	2,8	0,16	0,65	1,17	0,89	5	7,4	36,8
Горизонтально-фрезерный станок	1	9,7	0,16	0,65	1,17	0,89	5	25,5	127,4
Горизонтально-фрезерный станок	2	13,1	0,16	0,65	1,17	0,89	5	34,4	172,0

продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПР2 ПР11-7123									
Шкаф сушильный	2	24,0	0,70	0,95	0,33	1	–	38,4	–
Пресс гидравлический	1	5,7	0,25	0,65	1,17	0,89	5	15,0	74,9
Сварочный аппарат	1	40,0	0,30	0,40	2,29	0,98	3	151,9	455,8
Пресс механический	1	10,4	0,25	0,65	1,17	0,89	5	27,3	136,6
Вентилятор	1	12,0	0,80	0,80	0,75	0,90	7	25,3	177,3
ПР3 ПР11-7123									
Токарный станок	2	8,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	21,0	105,1
Токарный станок	2	6,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	17,1	85,4
Токарно-винторезный станок	1	16,3	0,16	0,65	1,17	0,89	5	42,8	214,0
Токарный станок	3	1,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	3,2	15,8
Токарный станок	1	1,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	4,2	21,0
Вертикально-сверлильный станок	1	2,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	5,3	26,3
Вертикально-сверлильный станок	1	8,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	21,5	107,7
ПР4 ПР11-7123									
Шлифовальный станок	2	3,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	8,4	42,0
Шлифовальный станок	1	3,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	9,5	47,3
Обдирочно-шлифовальный станок	1	10,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	26,8	133,9
Обдирочно-шлифовальный станок	1	13,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	35,5	177,3
Сварочный аппарат	2	40,0	0,30	0,40	2,29	0,98	3	151,9	455,8
Вентилятор	1	12,0	0,80	0,80	0,75	0,90	7	25,3	177,3
ПР5 ПР11-7123									
Резьбофрезерный станок	1	4,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	11,8	59,1
Горизонтально-фрезерный станок	1	1,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	4,2	21,0
Вертикально-фрезерный станок	1	2,8	0,16	0,65	1,17	0,89	5	7,4	36,8
Горизонтально-фрезерный станок	1	2,1	0,16	0,65	1,17	0,89	5	5,5	27,6
Горизонтально-фрезерный станок	2	4,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	12,1	60,4
Плоскошлифовальный станок	1	7,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	20,0	99,8
Плоскошлифовальный станок	1	11,8	0,16	0,65	1,17	0,89	5	31,0	155,0
ПР6 ПР11-7123									
Токарно-револьверный станок	2	12,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	31,5	157,6
Токарно-револьверный станок	1	8,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	22,3	111,6
Токарный с гидрокопиром	1	13,4	0,16	0,65	1,17	0,89	5	35,2	176,0
Токарно-патронный станок	2	8,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	22,6	112,9
Токарно-винторезный станок	2	11,9	0,16	0,65	1,17	0,89	5	31,3	156,3
Токарный 6-ти шпиндельный п/ав	1	35,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	91,9	459,6
Гидрокопировальный станок	1	7,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	19,7	98,5
Радиально-сверлильный станок	1	12,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	32,0	160,2
Горизонтально-расточный станок	1	15,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	40,7	203,5

окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПР7 ПР11-7123									
Специально-сверлильный станок	1	25,3	0,16	0,65	1,17	0,89	5	66,4	332,2
Специально-сверлильный станок	1	37,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	97,2	485,9
Токарный станок	1	6,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	17,3	86,7
Токарный станок	1	1,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	4,2	21,0
Гидрокопировальный станок	1	7,5	0,16	0,65	1,17	0,89	5	19,7	98,5
Плоскошлифовальный станок	1	16,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	42,0	210,1
Круглошлифовальный станок	1	16,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	42,0	210,1
Токарно-винторезный станок	1	6,4	0,16	0,65	1,17	0,89	5	16,8	84,0
Токарно-винторезный станок	1	2,4	0,16	0,65	1,17	0,89	5	6,3	31,5
Токарно-винторезный станок	1	1,2	0,16	0,65	1,17	0,89	5	3,2	15,8
Вентилятор	1	12,0	0,80	0,80	0,75	0,90	7	25,3	177,3
ПР8 ПР11-7123									
Токарно-винторезный станок	1	6,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	15,8	78,8
Токарно-винторезный станок	1	2,4	0,16	0,65	1,17	0,89	5	6,3	31,5
Токарно-винторезный станок	1	21,3	0,16	0,65	1,17	0,89	5	55,9	279,7
Токарно-винторезный станок	1	21,3	0,16	0,65	1,17	0,89	5	55,9	279,7
Компрессор	1	2,6	0,75	0,85	0,62	0,89	5	5,2	26,1
Радиально-сверлильный станок	1	22,4	0,16	0,65	1,17	0,89	5	58,8	294,2
Горизонтально-расточный станок	1	25,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	65,7	328,3
Токарно-винторезный станок	1	43,0	0,16	0,65	1,17	0,89	5	112,9	564,7
Токарно-винторезный станок	1	18,6	0,16	0,65	1,17	0,89	5	48,9	244,3
Вентилятор	1	12,0	0,80	0,80	0,75	0,90	7	25,3	177,3

План цеха с расположением распределительных пунктов и питаемых от них электроприемников изображён на рисунке 2.1.

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 ($K_{и} \geq 0,6$; $K_{з} \geq 0,9$; $K_{в} = 1$).

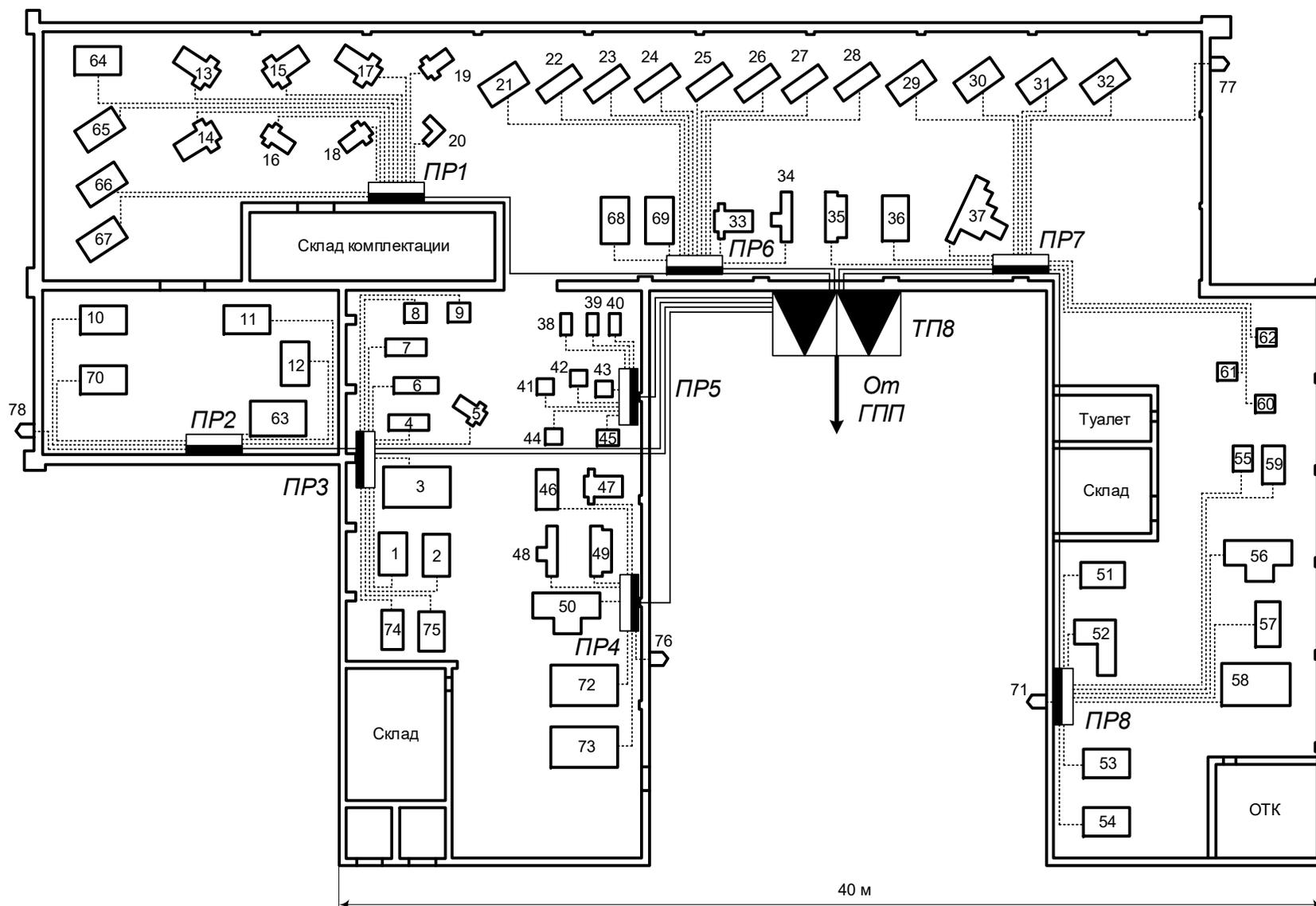


Рисунок 2.1 – План силовой и распределительной сети цеха

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

$$P_{\text{ном.}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} = 676,8 + 16,1 + 120,0 = 812,9 \text{ кВт.}$$

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

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном.}\Sigma} = 0,16 \cdot 676,8 = 108,3 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 108,3 \cdot 1,17 = 126,6 \text{ кВАр,}$$

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

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

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

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

$$P_{\text{см}}^{\text{А}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{см.}i} = 108,3 + 4,0 + 36,0 = 148,3 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{см}}^{\text{А}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{см.}i} = 126,6 + 4,7 + 82,5 = 213,8 \text{ кВАр.}$$

Диапазон величины модуля силовой сборки

$$m = \frac{P_{\text{ном.max}}}{P_{\text{ном.min}}} = \frac{43,0}{1,2} = 35,8 > 3.$$

Средневзвешенный коэффициент использования по группе

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{P_{\text{см}}^{\text{А}}}{P_{\text{ном.}\Sigma}} = \frac{148,3}{812,9} = 0,18.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{см}}^{\text{А}}}{P_{\text{см}}^{\text{А}}} = \frac{213,8}{148,3} = 1,44.$$

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

$$n_э = \frac{[P_{\text{НОМ.}\Sigma}]^2}{\sum P_{\text{НОМ}}^2} = \frac{812,9^2}{16864,4} = 39,2 \text{ шт.}$$

принимаем $n_э = 39$ шт.

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

$$K_M = 1,51.$$

Коэффициент максимума реактивной мощности

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

Расчетная активная и реактивная мощности для группы "А"

$$P_p^{\text{"А"}} = K_M \cdot P_{\text{СМ}}^{\text{"А"}} = 1,51 \cdot 148,3 = 223,7 \text{ кВт},$$

$$Q_p^{\text{"А"}} = K'_M \cdot Q_{\text{СМ}}^{\text{"А"}} = 1,0 \cdot 213,8 = 213,8 \text{ кВАр.}$$

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

$$P_p^{\text{"Б"}} = P_{\text{СМ}}^{\text{"Б"}} = 74,0 \text{ кВт}, \quad Q_p^{\text{"Б"}} = Q_{\text{СМ}}^{\text{"Б"}} = 41,1 \text{ кВАр.}$$

Расчетная активная и реактивная мощности электроприемников по цеху

$$P_p = P_p^{\text{"А"}} + P_p^{\text{"Б"}} = 223,7 + 74,0 = 297,7 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_p^{\text{"А"}} + Q_p^{\text{"Б"}} = 213,8 + 41,1 = 254,8 \text{ кВАр.}$$

Для освещения цеха применяется светодиодное освещение.

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

$$P_{\text{н.о}} = P_{\text{уд.о}} \cdot F_{\text{ц}} = 0,006 \cdot 1380 = 8,3 \text{ кВт},$$

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

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

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{\text{р.о}} = K_{\text{со}} \cdot P_{\text{н.о}} = 0,95 \cdot 8,3 = 7,9 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.о}} = P_{\text{р.о}} \cdot \text{tg}\varphi_0 = 7,9 \cdot 0,48 = 3,8 \text{ кВАр},$$

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

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

Определение расчётной нагрузки цеха с учетом освещения

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ = \sqrt{(297,7 + 7,9)^2 + (254,8 + 3,8)^2} = 400,3 \text{ кВА.}$$

Определение расчётного тока цеха

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{400,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 608,2 \text{ А,}$$

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

Определение пикового тока цеха

Номинальный ток самого мощного электроприемника цеха

$$I_{ном}^{max} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{43,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,89} = 112,9 \text{ А.}$$

Пусковой ток самого мощного электроприемника цеха

$$I_{пуск}^{max} = K_{пуск} \cdot I_{ном}^{max} = 5 \cdot 112,9 = 564,7 \text{ А.}$$

Пиковый ток цеха

$$I_{пик.ц} = I_{пуск}^{max} + (I_p - K_{u,max} \cdot I_{ном}^{max}) = 564,7 + (608,2 - 0,16 \cdot 112,9) = 1154,8 \text{ А.}$$

Расчет полной нагрузки цеха приведен в таблице 2.2. Распределение электроприемников по пунктам питания и расчет электрических нагрузок по пунктам питания сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.2 – Определение расчетных нагрузок цеха

Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество ЭП, п	Установленная мощность		$m = P_{\text{ном. max}} / P_{\text{ном. min}}$	Коэффициент использования $K_{\text{д}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников n_3	Коэффициент максимума $K_{\text{м}}$	Расчетная нагрузка			$I_{\text{р}}$, А	$I_{\text{пик}}$, А
		$P_{\text{ном}}$, кВт	$\Sigma P_{\text{ном}}$, кВт					$P_{\text{см}} = K_{\text{д}} \cdot P_{\text{ном}}$, 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
Электроприемники группы "А" $K_{\text{д}} < 0,6$																
1 Станки разные	66	1,2 ÷ 43,0	676,8		0,16	0,65	1,17	108,3	126,6							
2 Пресс	2	5,7 ÷ 10,4	16,1		0,25	0,65	1,17	4,0	4,7							
3 Сварочный аппарат	3	40,0 ÷ 40,0	120,0		0,30	0,40	2,29	36,0	82,5							
Итого по группе "А"	71	1,2 ÷ 43,0	812,9	>3	0,18	0,57	1,44	148,3	213,8	39	1,51	223,7	213,8			
Электроприемники группы "Б" $K_{\text{д}} \geq 0,6$																
4 Вентиляторы	4	12 ÷ 12	48,0		0,80	0,80	0,75	38,4	28,8							
5 Шкаф сушильный	2	24 ÷ 24	48,0		0,70	0,95	0,33	33,6	11,0							
6 Компрессор	1	3 ÷ 3	2,6		0,75	0,85	0,62	2,0	1,2							
Итого по группе "Б"	7	2,6 ÷ 24	98,6		0,75	0,87	0,56	74,0	41,1		1	74,0	41,1			
Итого силовая нагрузка	78	1,2 ÷ 43	911,5		0,24	0,66	1,15	222,3	254,8			297,7	254,8	391,9		
Электрическое освещение			8,3	$K_{\text{со}} =$	0,95	0,90	0,48	7,9	3,8			7,9	3,8			
Итого по цеху	78	1,2 ÷ 43	919,8		0,25	0,66	1,12	230,1	258,7			305,5	258,7	400,3	608,2	1154,8

Таблица 2.3 – 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_3	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	12	1,5 ÷ 14,5	105,7		0,16	0,65	1,17	16,9	19,8							
Итого по группе "А"	12	1,5 ÷ 14,5	105,7	>3	0,16	0,65	1,17	16,9	19,8	9	2,15	36,3	21,7	42,3		
Итого по ПР-1	12	1,5 ÷ 14,5	105,7		0,16	0,65	1,17	16,9	19,8			36,3	21,7	42,3	64,3	248,6
Пункт распределительный ПР-2																
Электроприемники группы "А" $K_{\text{и}} < 0,6$																
1 Пресс	2	5,7 ÷ 10,4	16,1		0,25	0,65	1,17	4,0	4,7							
2 Сварочный аппарат	1	40,0 ÷ 40,0	40,0		0,30	0,40	2,29	12,0	27,5							
Итого по группе "А"	3	5,7 ÷ 40,0	56,1		0,29	0,45	2,01	16,0	32,2			56,1	110,5	123,9		
Электроприемники группы "Б" $K_{\text{и}} \geq 0,6$																
3 Шкаф сушильный	2	24,0 ÷ 24,0	48,0		0,70	0,95	0,33	33,6	11,0							
4 Вентилятор	1	12,0 ÷ 12,0	12,0		0,80	0,80	0,75	9,6	7,2							
Итого по группе "Б"	3	12,0 ÷ 24,0	60,0		0,72	0,92	0,42	43,2	18,2			60,0	24,8	64,9		
Итого по ПР-2	6	5,7 ÷ 40,0	116,1		0,51	0,76	0,85	59,2	50,4			116,1	135,3	178,2	270,8	681,0

продолжение таблицы 2.3

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	11	1,2 ÷ 16,3	60,7		0,16	0,65	1,17	9,7	11,4							
Итого по группе "А"	11	1,2 ÷ 16,3	60,7	>3	0,16	0,65	1,17	9,7	11,4	6	2,40	23,3	12,5	26,5		
Итого по ПР-3	11	1,2 ÷ 16,3	60,7		0,16	0,65	1,17	9,7	11,4			23,3	12,5	26,5	40,2	247,4
Пункт распределительный ПР-4																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	5	3,2 ÷ 13,5	33,7		0,16	0,65	1,17	5,4	6,3							
2 Сварочный аппарат	2	40,0 ÷ 40,0	80,0		0,30	0,40	2,29	24,0	55,0							
Итого по группе "А"	7	3,2 ÷ 40,0	113,7	>3	0,26	0,43	2,09	29,4	61,3	3	2,47	72,5	67,4	99,0		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
3 Вентилятор	1	12,0 ÷ 12,0	12,0		0,80	0,80	0,75	9,6	7,2							
Итого по группе "Б"	1	12,0 ÷ 12,0	12,0		0,80	0,80	0,75	9,6	7,2			12,0	9,0	15,0		
Итого по ПР-4	8	3,2 ÷ 40,0	125,7		0,31	0,49	1,76	39,0	68,5			84,5	76,4	113,9	173,1	583,3
Пункт распределительный ПР-5																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	8	1,6 ÷ 11,8	39,6		0,16	0,65	1,17	6,3	7,4							
Итого по группе "А"	8	1,6 ÷ 11,8	39,6	>3	0,16	0,65	1,17	6,3	7,4	5	2,54	16,1	8,1	18,0		
Итого по ПР-5	8	1,6 ÷ 11,8	39,6		0,16	0,65	1,17	6,3	7,4			16,1	8,1	18,0	27,4	177,4
Пункт распределительный ПР-6																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	12	7,5 ÷ 35,0	157,1		0,16	0,65	1,17	25,1	29,4							
Итого по группе "А"	12	7,5 ÷ 35,0	157,1	>3	0,16	0,65	1,17	25,1	29,4	9	2,15	53,9	32,3	62,9		
Итого по ПР-6	12	7,5 ÷ 35,0	157,1		0,16	0,65	1,17	25,1	29,4			53,9	32,3	62,9	95,5	540,4

окончание таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Пункт распределительный ПР-7																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	10	1,2 ÷ 37,0	120,0		0,16	0,65	1,17	19,2	22,4							
Итого по группе "А"	10	1,2 ÷ 37,0	120,0	>3	0,16	0,65	1,17	19,2	22,4	5	2,54	48,7	24,7	54,6		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
2 Вентилятор	1	12,0 ÷ 12,0	12,0		0,80	0,80	0,75	9,6	7,2							
Итого по группе "Б"	1	12,0 ÷ 12,0	12,0		0,80	0,80	0,75	9,6	7,2			12,0	9,0	15,0		
Итого по ПР-7	11	1,2 ÷ 37,0	132,0		0,22	0,70	1,03	28,8	29,6			60,7	33,7	69,4	105,5	575,8
Пункт распределительный ПР-8																
Электроприемники группы "А" $K_n < 0,6$																
1 Станки разные	8	2,4 ÷ 43,0	160,0		0,16	0,65	1,17	25,6	29,9							
Итого по группе "А"	8	2,4 ÷ 43,0	160,0	>3	0,16	0,65	1,17	25,6	29,9	5	2,54	64,9	32,9	72,8		
Электроприемники группы "Б" $K_n \geq 0,6$																
2 Вентилятор	1	12,0 ÷ 12,0	12,0		0,80	0,80	0,75	9,6	7,2							
3 Компрессор	1	2,6 ÷ 2,6	2,6		0,75	0,85	0,62	2,0	1,2							
Итого по группе "Б"	2	2,6 ÷ 12,0	14,6		0,79	0,81	0,73	11,6	8,4			14,6	10,6	18,0		
Итого по ПР-8	10	2,4 ÷ 43,0	174,6		0,21	0,70	1,03	37,2	38,3			79,5	43,5	90,7	137,8	684,4
Итого силовая нагрузка	78	1,2 ÷ 43,0	911,5		0,24	0,66	1,15	222,3	254,8			470,5	363,6	602,0		
Электрическое освещение			8,3	$K_{co} =$	0,95	0,90	0,48	7,9	3,8			7,9	3,8			
Итого по цеху	78	1,2 ÷ 43,0	919,8		0,25	0,66	1,12	230,1	258,7			478,4	367,4	603,2	608,2	1154,8

2.2 Расчет питающей и распределительной сети. Выбор защитных аппаратов

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.

Для питания распределительных пунктов и отдельных электроприемников принимаем кабели марки АВВГнг-LS с прокладкой на лотках по стенам и в коробах. Питание осуществляем по радиальным линиям.

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

K – кратность отсечки;

$I_{\text{пик}}$ – пиковый ток;

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

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

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

Условие выбора проводников [4, стр. 184]:

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

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

3. По допустимой потере напряжения: $\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l$,

где $K_{п1}$ $K_{п2}$ – 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.

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

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 навсегда;
- сети TT следует использовать для временных, расширяемых и изменяемых электроустановок;
- сети IT следует использовать в тех случаях, когда бесперебойность электроснабжения является крайне необходимой.

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

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

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

Примеры выбора аппаратуры и кабелей.

а) Выбор отходящего автоматического выключателя подстанции

Расчетный ток нагрузки подстанции

$$I_{р.ПС} = \frac{S_{р.ПС}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{1263,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1919,1 \text{ А.}$$

Номинальный ток трансформатора подстанции

$$I_{НОМ.тр} = \frac{S_{НОМ.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2430,9 \text{ А.}$$

Максимальный рабочий ток трансформатора подстанции

$$I_{\max.раб} = 1,4 \cdot I_{НОМ.тр} = 1,4 \cdot 2430,9 = 3403,3 \text{ А.}$$

Пиковый ток подстанции

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.ПС}} &= I_{\text{пуск}}^{\max} + (I_{\max.раб} - K_{u.\max} \cdot I_{НОМ}^{\max}) = \\ &= 564,7 + (3403,3 - 0,16 \cdot 112,9) = 3949,9 \text{ А.} \end{aligned}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА74–48 с параметрами $I_{НОМ.ав} = 5500 \text{ А}$, $I_{\text{тепл}} = 4000 \text{ А}$ [10, стр. 87-88].

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 4000 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\max.раб} = 1,1 \cdot 3403,3 = 3743,7 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 1,25 \cdot 3949,9 = 4937,4 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{4937,4}{4000} = 1,2,$$

принимаем $K = 2,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{э.0} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 2,0 \cdot 4000 = 8000 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 4937,4 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

б) Выбор секционного автоматического выключателя подстанции

Максимальный рабочий ток трансформатора

$$I_{\max.\text{раб}} = 3403,3 \text{ А.}$$

Расчетный ток секционного выключателя

$$I_{p.\text{СВ}} = 0,7 \cdot I_{\max.\text{раб}} = 0,7 \cdot 3403,3 = 2382,3 \text{ А.}$$

Пиковый ток сборных шин

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.СШ}} &= I_{\text{пуск}}^{\max} + (I_{p.\text{СН}} - K_{u.\text{max}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\max}) = \\ &= 564,7 + (2382,3 - 0,16 \cdot 112,9) = 2928,9 \text{ А.} \end{aligned}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА74–43 с параметрами $I_{\text{НОМ.ав}} = 3000 \text{ А}$,

$$I_{\text{тепл}} = 3000 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 3000 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{p.\text{СВ}} = 1,1 \cdot 2382,3 = 2620,6 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1,25 \cdot 2928,9 = 3661,2 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{3661,2}{3000} = 1,2,$$

принимаем $K = 2,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 2,5 \cdot 3000 = 6000,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 3661,2 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

в) Участок УВнн – ПР1

Расчетный и пиковый ток нагрузки ПР1

$$I_p = 64,3 \text{ А}, \quad I_{\text{пик}} = 248,6 \text{ А.}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА57–35 с параметрами $I_{\text{НОМ.ав}} = 250 \text{ А}$,

$$I_{\text{тепл}} = 80 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 80 \text{ А} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 64,3 = 70,7 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 248,6 = 310,7 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{310,7}{80} = 3,9,$$

принимаем $K = 5,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 5,0 \cdot 80 = 400,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 310,7 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки АВВГнг-LS – 1(5×35) с $I_{\text{доп}} = 90 \text{ А}$ [9, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 90 \text{ А} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{64,3}{1,0 \cdot 1,0} = 64,3 \text{ А.}$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 90 \text{ А} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1 \cdot 80}{1,0} = 80,0 \text{ А,}$$

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

$$\Delta U_{\text{р\%}} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,313 \cdot 64,3 \cdot 0,032 = 0,64\% < 5\%,$$

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

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

5% – допустимое значение потерь напряжения;

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

г) Участок ПР1 – Фрезерный станок

Номинальный и пусковой ток нагрузки

$$I_{\text{НОМ}} = 11,0 \text{ А}, \quad I_{\text{ПУСК}} = 55,2 \text{ А}.$$

Намечаем к установке автомат марки ВА47–63 с параметрами $I_{\text{НОМ.ав}} = 63 \text{ А}$,
 $I_{\text{ТЕПЛ}} = 12,5 \text{ А}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{ТЕПЛ}} = 12,5 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{НОМ}} = 1,1 \cdot 11,0 = 12,1 \text{ А}.$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,5 \cdot I_{\text{ПУСК}} = 1,5 \cdot 55,2 = 82,7 \text{ А}.$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,5 \cdot I_{\text{ПУСК}}}{I_{\text{ТЕПЛ}}} = \frac{82,7}{12,5} = 6,6,$$

принимаем $K = 6$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{ТЕПЛ}} = 6 \cdot 12,5 = 75,0 \text{ А} > 1,5 \cdot I_{\text{ПУСК}} = 82,7 \text{ А}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки АВВГнг-LS – 1(5×16) с $I_{\text{ДОП}} = 60 \text{ А}$.

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{ДОП}} = 60 \text{ А} > \frac{I_{\text{р}}}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{11,0}{1,0 \cdot 0,70} = 15,8 \text{ А}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{ДОП}} = 60 \text{ А} > \frac{K_{\text{з}} \cdot I_{\text{з}}}{K_{\text{п1}}} = \frac{1 \cdot 12,5}{1,0} = 12,5 \text{ А}.$$

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 2.4 (для распределительных пунктов) и таблицу 2.5 (для отдельных электроприемников).

Таблица 2.4 – 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 прокладки	$K_{п1}$	$K_{п2}$	$\frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2}}$, 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	$\frac{3403,3}{3949,9}$	3743,7	4937,4	ВА74 – 48	2,0	$\frac{4000}{8000}$	В коробе, на лотках	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Секционный выключатель ТП	$\frac{2382,3}{2928,9}$	2620,6	3661,2	ВА74 – 43	2,0	$\frac{3000}{6000}$		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ТП – ПР1	$\frac{64,3}{248,6}$	70,7	310,7	ВА57 – 35	5,0	$\frac{80}{400}$		1,00	1,0	64,3	1,00	80,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 35)	90	0,032	0,65	0,313	0,64	
ТП – ПР2	$\frac{270,8}{681,0}$	297,9	851,3	ВА52 – 39	10,0	$\frac{320}{3200}$		1,00	1,0	270,8	1,00	320,0	АВВГнг-LS - 2(5 × 95)	340	0,040	0,76	0,071	0,76	
ТП – ПР3	$\frac{40,2}{247,4}$	44,2	309,3	ВА57 – 35	8,0	$\frac{63}{504}$		1,00	1,0	40,2	1,00	63,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 25)	75	0,034	0,65	0,428	0,58	
ТП – ПР4	$\frac{173,1}{583,3}$	190,4	729,2	ВА74 – 40	4,0	$\frac{260}{1040}$		1,00	1,0	173,1	1,00	260,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 185)	270	0,029	0,49	0,069	0,35	
ТП – ПР5	$\frac{27,4}{177,4}$	30,1	221,7	ВА57 – 35	8,0	$\frac{50}{400}$		1,00	1,0	27,4	1,00	50,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 16)	60	0,021	0,65	0,642	0,36	
ТП – ПР6	$\frac{95,5}{540,4}$	105,1	675,5	ВА74 – 40	5,0	$\frac{190}{950}$		1,00	1,0	95,5	1,00	190,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 120)	200	0,016	0,65	0,109	0,17	
ТП – ПР7	$\frac{105,5}{575,8}$	116,0	719,8	ВА74 – 40	5,0	$\frac{190}{950}$		1,00	1,0	105,5	1,00	190,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 120)	200	0,018	0,70	0,109	0,21	
ТП – ПР8	$\frac{137,8}{684,4}$	151,6	855,5	ВА74 – 40	5,0	$\frac{190}{950}$	1,00	1,0	137,8	1,00	190,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 120)	200	0,038	0,70	0,109	0,57		

Таблица 2.5 – 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															
Фрезерный станок	11,0	55,2	12,1	82,7	ВА47 – 63	7,5	12,5	93,8	1,00	0,7	15,8	1,00	12,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Фрезерный станок	34,4	172,0	37,8	258,0	ВА47 – 63	7,5	40,0	300,0	1,00	0,7	49,2	1,00	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Фрезерный станок	16,3	81,4	17,9	122,1	ВА47 – 63	7,5	20,0	150,0	1,00	0,7	23,3	1,00	20,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Горизонтально-фрезерный станок	37,8	189,1	41,6	283,6	ВА47 – 63	7,5	50,0	375,0	1,00	0,7	54,0	1,00	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Вертикально-фрезерный станок	3,9	19,7	4,3	29,5	ВА47 – 63	7,5	5,0	37,5	1,00	0,7	5,6	1,00	5,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Вертикально-сверлильный станок	23,4	116,9	25,7	175,3	ВА47 – 63	7,5	31,5	236,3	1,00	0,7	33,4	1,00	31,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Вертикально-сверлильный станок	38,1	190,4	41,9	285,6	ВА47 – 63	7,5	50,0	375,0	1,00	0,7	54,4	1,00	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Вертикально-фрезерный станок	7,4	36,8	8,1	55,2	ВА47 – 63	7,5	10,0	75,0	1,00	0,7	10,5	1,00	10,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Горизонтально-фрезерный станок	25,5	127,4	28,0	191,1	ВА47 – 63	7,5	31,5	236,3	1,00	0,7	36,4	1,00	31,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Горизонтально-фрезерный станок	34,4	172,0	37,8	258,0	ВА47 – 63	7,5	40,0	300,0	1,00	0,7	49,2	1,00	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Пункт распределительный ПР2															
Шкаф сушильный	38,4	–	42,2	–	ВА47 – 63	–	50	–	1,00	1,0	38,4	1,00	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Пресс гидравлический	15,0	74,9	16,5	112,3	ВА47 – 63	7,5	20	150,0	1,00	1,0	15,0	1,00	20,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Сварочный аппарат	151,9	455,8	167,1	683,7	ВА57 – 35	4,0	200	800,0	1,00	1,0	151,9	1,00	200,0	АВВГнг-LS –1(5 × 120)	200
Пресс механический	27,3	136,6	30,0	204,9	ВА47 – 63	7,5	31,5	236,3	1,00	1,0	27,3	1,00	31,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Вентилятор	25,3	177,3	27,9	265,9	ВА47 – 63	10,0	31,5	315,0	1,00	1,0	25,3	1,00	31,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60

продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Пункт распределительный ПР3															
Токарный станок	21,0	105,1	23,1	157,6	ВА47 – 63	7,5	25	187,5	1,00	1,0	21,0	1,00	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарный станок	17,1	85,4	18,8	128,0	ВА47 – 63	7,5	20	150,0	1,00	1,0	17,1	1,00	20,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарно-винторезный станок	42,8	214,0	47,1	321,1	ВА47 – 63	7,5	50	375,0	1,00	1,0	42,8	1,00	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарный станок	3,2	15,8	3,5	23,6	ВА47 – 63	7,5	4	30,0	1,00	1,0	3,2	1,00	4,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарный станок	4,2	21,0	4,6	31,5	ВА47 – 63	7,5	5	37,5	1,00	1,0	4,2	1,00	5,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Вертикально-сверлильный станок	5,3	26,3	5,8	39,4	ВА47 – 63	7,5	6	47,3	1,00	1,0	5,3	1,00	6,3	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Вертикально-сверлильный станок	21,5	107,7	23,7	161,5	ВА47 – 63	7,5	25	187,5	1,00	1,0	21,5	1,00	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Пункт распределительный ПР4															
Шлифовальный станок	8,4	42,0	9,2	63,0	ВА47 – 63	7,5	10	75,0	1,00	1,0	8,4	1,00	10,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Шлифовальный станок	9,5	47,3	10,4	70,9	ВА47 – 63	7,5	13	93,8	1,00	1,0	9,5	1,00	12,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Обдирочно-шлифовальный станок	26,8	133,9	29,5	200,9	ВА47 – 63	7,5	31,5	236,3	1,00	1,0	26,8	1,00	31,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Обдирочно-шлифовальный станок	35,5	177,3	39,0	265,9	ВА47 – 63	7,5	40	300,0	1,00	1,0	35,5	1,00	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Сварочный аппарат	151,9	455,8	167,1	683,7	ВА57 – 35	4,0	200	800,0	1,00	1,0	151,9	1,00	200,0	АВВГнг-LS –1(5 × 120)	200
Вентилятор	25,3	177,3	27,9	265,9	ВА47 – 63	10,0	31,5	315,0	1,00	1,0	25,3	1,00	31,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Пункт распределительный ПР5															
Резьбофрезерный станок	11,8	59,1	13,0	88,6	ВА47 – 63	7,5	16	120,0	1,00	1,0	11,8	1,00	16,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Горизонтально-фрезерный станок	4,2	21,0	4,6	31,5	ВА47 – 63	7,5	5	37,5	1,00	1,0	4,2	1,00	5,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Вертикально-фрезерный станок	7,4	36,8	8,1	55,2	ВА47 – 63	7,5	10	75,0	1,00	1,0	7,4	1,00	10,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Горизонтально-фрезерный станок	5,5	27,6	6,1	41,4	ВА47 – 63	7,5	6,3	47,3	1,00	1,0	5,5	1,00	6,3	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Горизонтально-фрезерный станок	12,1	60,4	13,3	90,6	ВА47 – 63	7,5	16	120,0	1,00	1,0	12,1	1,00	16,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Плоскошлифовальный станок	20,0	99,8	22,0	149,7	ВА47 – 63	7,5	25	187,5	1,00	1,0	20,0	1,00	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Плоскошлифовальный станок	31,0	155,0	34,1	232,4	ВА47 – 63	7,5	40	300,0	1,00	1,0	31,0	1,00	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60

продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Пункт распределительный ПР6															
Токарно-револьверный станок	31,5	157,6	34,7	236,4	ВА47 – 63	7,5	40	300,0	1,00	0,75	42,0	1,00	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарно-револьверный станок	22,3	111,6	24,6	167,4	ВА47 – 63	7,5	25	187,5	1,00	0,75	29,8	1,00	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарный с гидрокопиром	35,2	176,0	38,7	263,9	ВА47 – 63	7,5	40	300,0	1,00	0,75	46,9	1,00	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарно-патронный станок	22,6	112,9	24,8	169,4	ВА47 – 63	7,5	25	187,5	1,00	0,75	30,1	1,00	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарно-винторезный станок	31,3	156,3	34,4	234,4	ВА47 – 63	7,5	40	300,0	1,00	0,75	41,7	1,00	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарный 6-ти шпиндельный п/ав	91,9	459,6	101,1	689,4	ВА57 – 35	6,0	125	750,0	1,00	0,75	122,6	1,00	125,0	АВВГнг-LS –1(5 × 70)	140
Гидрокопировальный станок	19,7	98,5	21,7	147,7	ВА47 – 63	7,5	25	187,5	1,00	0,75	26,3	1,00	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Радиально-сверлильный станок	32,0	160,2	35,2	240,3	ВА47 – 63	7,5	40	300,0	1,00	0,75	42,7	1,00	40,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Горизонтально-расточный станок	40,7	203,5	44,8	305,3	ВА47 – 63	7,5	50	375,0	1,00	0,75	54,3	1,00	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Пункт распределительный ПР7															
Специально-сверлильный станок	66,4	332,2	73,1	498,3	ВА57 – 35	8,0	80	640,0	1,00	0,85	78,2	1,00	80,0	АВВГнг-LS –1(5 × 35)	90
Специально-сверлильный станок	97,2	485,9	106,9	728,8	ВА57 – 35	6,0	125	750,0	1,00	0,85	114,3	1,00	125,0	АВВГнг-LS –1(5 × 70)	140
Токарный станок	17,3	86,7	19,1	130,0	ВА47 – 63	7,5	20	150,0	1,00	0,85	20,4	1,00	20,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарный станок	4,2	21,0	4,6	31,5	ВА47 – 63	7,5	5	37,5	1,00	0,85	4,9	1,00	5,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Гидрокопировальный станок	19,7	98,5	21,7	147,7	ВА47 – 63	7,5	25	187,5	1,00	0,85	23,2	1,00	25,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Плоскошлифовальный станок	42,0	210,1	46,2	315,2	ВА47 – 63	7,5	50	375,0	1,00	0,85	49,4	1,00	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Круглошлифовальный станок	42,0	210,1	46,2	315,2	ВА47 – 63	7,5	50	375,0	1,00	0,85	49,4	1,00	50,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарно-винторезный станок	16,8	84,0	18,5	126,1	ВА47 – 63	7,5	20	150,0	1,00	0,85	19,8	1,00	20,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарно-винторезный станок	6,3	31,5	6,9	47,3	ВА47 – 63	7,5	8	60,0	1,00	0,85	7,4	1,00	8,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарно-винторезный станок	3,2	15,8	3,5	23,6	ВА47 – 63	7,5	4	30,0	1,00	0,85	3,7	1,00	4,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Вентилятор	25,3	177,3	27,9	265,9	ВА47 – 63	10,0	31,5	315,0	1,00	0,85	29,8	1,00	31,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60

окончание таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Пункт распределительный ПР8															
Токарно-винторезный станок	15,8	78,8	17,3	118,2	ВА47 – 63	7,5	20	150,0	1,00	0,85	18,5	1,00	20,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарно-винторезный станок	6,3	31,5	6,9	47,3	ВА47 – 63	7,5	8	60,0	1,00	0,85	7,4	1,00	8,0	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Токарно-винторезный станок	55,9	279,7	61,5	419,6	ВА47 – 63	7,5	63	472,5	1,00	0,85	65,8	1,00	63,0	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Токарно-винторезный станок	55,9	279,7	61,5	419,6	ВА47 – 63	7,5	63	472,5	1,00	0,85	65,8	1,00	63,0	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Компрессор	5,2	26,1	5,7	39,2	ВА47 – 63	7,5	6	47,3	1,00	0,85	6,1	1,00	6,3	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60
Радиально-сверлильный станок	58,8	294,2	64,7	441,2	ВА57 – 35	6,0	80	480,0	1,00	0,85	69,2	1,00	80,0	АВВГнг-LS –1(5 × 35)	90
Горизонтально-расточный станок	65,7	328,3	72,2	492,4	ВА57 – 35	8,0	80	640,0	1,00	0,85	77,2	1,00	80,0	АВВГнг-LS –1(5 × 35)	90
Токарно-винторезный станок	112,9	564,7	124,2	847,0	ВА57 – 35	8,0	125	1000,0	1,00	0,85	132,9	1,00	125,0	АВВГнг-LS –1(5 × 70)	140
Токарно-винторезный станок	48,9	244,3	53,7	366,4	ВА47 – 63	7,5	63	472,5	1,00	0,85	57,5	1,00	63,0	АВВГнг-LS –1(5 × 25)	75
Вентилятор	25,3	177,3	27,9	265,9	ВА47 – 63	10,0	31,5	315,0	1,00	0,85	29,8	1,00	31,5	АВВГнг-LS –1(5 × 16)	60

2.3 Проверка сети по условию допустимой потери напряжения

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 ТП8 – УВнн – ПР8 – ЭП №59.

Расчетные данные приемника №25

$P_{\text{НОМ}} = 18,6 \text{ кВт}$, $Q_{\text{НОМ}} = 21,7 \text{ кВАр}$, $S_{\text{НОМ}} = 28,6 \text{ кВА}$.

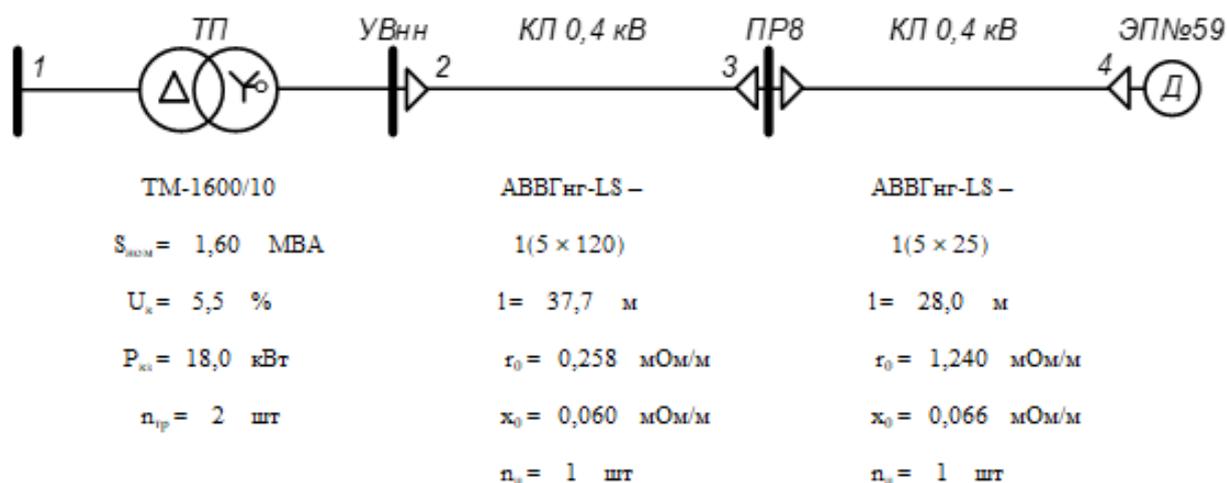


Рисунок 2.2 – Расчетная схема

Расчет максимального режима нагрузки

Участок 1-2

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 1-2

$$P_{12} = \sum P_{\text{ц.ТП}} = 974,9 \text{ кВт}, \quad Q_{12} = \sum Q_{\text{ц.ТП}} = 803,2 \text{ кВАр},$$

$$S_{12} = \sqrt{P_{12}^2 + Q_{12}^2} = \sqrt{974,9^2 + 803,2^2} = 1263,1 \text{ кВА}.$$

Активная и реактивная составляющая значения напряжения короткого замыкания трансформатора

$$U_a = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot 100\%}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{18,0 \cdot 100\%}{1600} = 1,125,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,125^2} = 5,384.$$

Коэффициент загрузки трансформатора

$$\beta_T = \frac{S_{12}}{n_{TP} \cdot S_{НОМ. TP}} = \frac{1263,1}{2 \cdot 1600} = 0,395.$$

Коэффициент мощности на участке 1-2

$$\cos \varphi = \frac{P_{12}}{S_{12}} = \frac{974,9}{1263,1} = 0,77, \quad \sin \varphi = \frac{Q_{12}}{S_{12}} = \frac{803,2}{1263,1} = 0,64.$$

Потеря напряжения на участке 1-2

$$\begin{aligned} \Delta U_{12, \%} &= \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi) = \\ &= 0,395 \cdot (1,125 \cdot 0,77 + 5,384 \cdot 0,64) + \frac{0,395^2}{200} \cdot (1,125 \cdot 0,66 - 5,384 \cdot 0,77) = \\ &= 1,691\%. \end{aligned}$$

Потеря напряжения на участке 1-2 в именованных единицах

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12, \%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 1,691 \cdot \frac{10500}{100} = 177,6 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 1-2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 177,6 = 10322,4 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 1-2 с учетом коэффициента трансформации

$$U_2^{HH} = U_2 = 400 \cdot \frac{10322,4}{10000} = 412,9 \text{ В.}$$

Участок 2-3

Активное и реактивное сопротивление участка 2-3

$$R_{23} = \frac{r_{23} \cdot l_{23}}{n_{ц}} = \frac{0,258 \cdot 37,7}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0097 \text{ Ом,}$$

$$X_{23} = \frac{x_{23} \cdot l_{23}}{n_{ц}} = \frac{0,060 \cdot 37,7}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0023 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 2-3

$$P_{23} = P_{ПР} = 79,5 \text{ кВт,} \quad Q_{23} = Q_{ПР} = 43,5 \text{ кВар.}$$

Потеря напряжения на участке 2-3

$$\Delta U_{23, \%} = \frac{P_{23} \cdot R_{23} + Q_{23} \cdot X_{23}}{10 \cdot U_2^2} = \frac{79,5 \cdot 0,0097 + 43,5 \cdot 0,0023}{10 \cdot 0,413^2} = 0,512\%.$$

Потеря напряжения на участке 2-3 в именованных единицах

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 0,512 \cdot \frac{412,9}{100} = 2,1 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 2-3

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 412,9 - 2,1 = 410,8 \text{ В.}$$

Участок 3-4

Активное и реактивное сопротивление участка 3-4

$$R_{34} = \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{1,240 \cdot 28,0}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0347 \text{ Ом,}$$

$$X_{34} = \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,066 \cdot 28,0}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0019 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 3-4

$$P_{34} = P_{\text{ном}} = 18,6 \text{ кВт,} \quad Q_{34} = Q_{\text{ном}} = 21,7 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 3-4

$$\Delta U_{34,\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{18,6 \cdot 0,0347 + 21,7 \cdot 0,0019}{10 \cdot 0,411^2} = 0,406\%.$$

Потеря напряжения на участке 3-4 в именованных единицах

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34,\%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 0,406 \cdot \frac{410,8}{100} = 1,7 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 3-4

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 410,8 - 1,7 = 409,1 \text{ В.}$$

Значения отклонений напряжения

$$\delta U_1 = 5\%, \quad \delta U_2 = \delta U_1 - \Delta U_{12\%} = 5 - 1,691 = 3,309\%,$$

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{23\%} = 3,309 - 0,512 = 2,797\%,$$

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{34\%} = 2,797 - 0,406 = 2,390\%.$$

Для режима минимальной нагрузки и послеаварийного режима расчет проводится аналогично. В соответствии с суточным графиком в режиме минимальной нагрузки активная и реактивная мощности составляют

$$P_{\text{min}} = P_{\text{max}} \cdot K_{\text{min}} = P_{\text{max}} \cdot 0,650, \quad Q_{\text{min}} = Q_{\text{max}} \cdot K_{\text{min}} = Q_{\text{max}} \cdot 0,600.$$

В качестве послеаварийного режима рассмотрим выход из строя одного трансформатора в цеховой подстанции.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Расчётные данные для построения эпюры отклонений напряжения

Участок	Тр-гор	cosφ	sinφ	β_T	Проводник	R, Ом	X, Ом	P, кВт	Q, кВАр	ΔU , %	δU , %
Максимальный режим											
ТП - УВнн	ТМ-1600/10	0,772	0,636	0,395	—	—	—	974,9	803,2	1,691	3,309
УВнн - ПР	—	—	—	—	АВВГнг-LS – 1(5 × 120)	0,0097	0,0023	79,5	43,5	0,512	2,797
ПР - ЭП	—	—	—	—	АВВГнг-LS – 1(5 × 25)	0,0347	0,0019	18,6	21,7	0,406	2,390
Минимальный режим											
ТП - УВнн	ТМ-1600/10	0,796	0,605	0,198	—	—	—	633,7	481,9	0,822	4,178
УВнн - ПР	—	—	—	—	АВВГнг-LS – 1(5 × 120)	0,0097	0,0023	51,7	26,1	0,357	3,821
ПР - ЭП	—	—	—	—	АВВГнг-LS – 1(5 × 25)	0,0347	0,0019	18,6	21,7	0,439	3,382
Послеаварийный режим											
ТП - УВнн	ТМ-1600/10	0,772	0,636	0,609	—	—	—	974,9	803,2	2,608	2,392
УВнн - ПР	—	—	—	—	АВВГнг-LS – 1(5 × 120)	0,0097	0,0023	79,5	43,5	0,521	1,870
ПР - ЭП	—	—	—	—	АВВГнг-LS – 1(5 × 25)	0,0347	0,0019	18,6	21,7	0,414	1,456

По результатам расчетов строим эпюры отклонения напряжений. Эпюры представлена на рисунке 2.3.

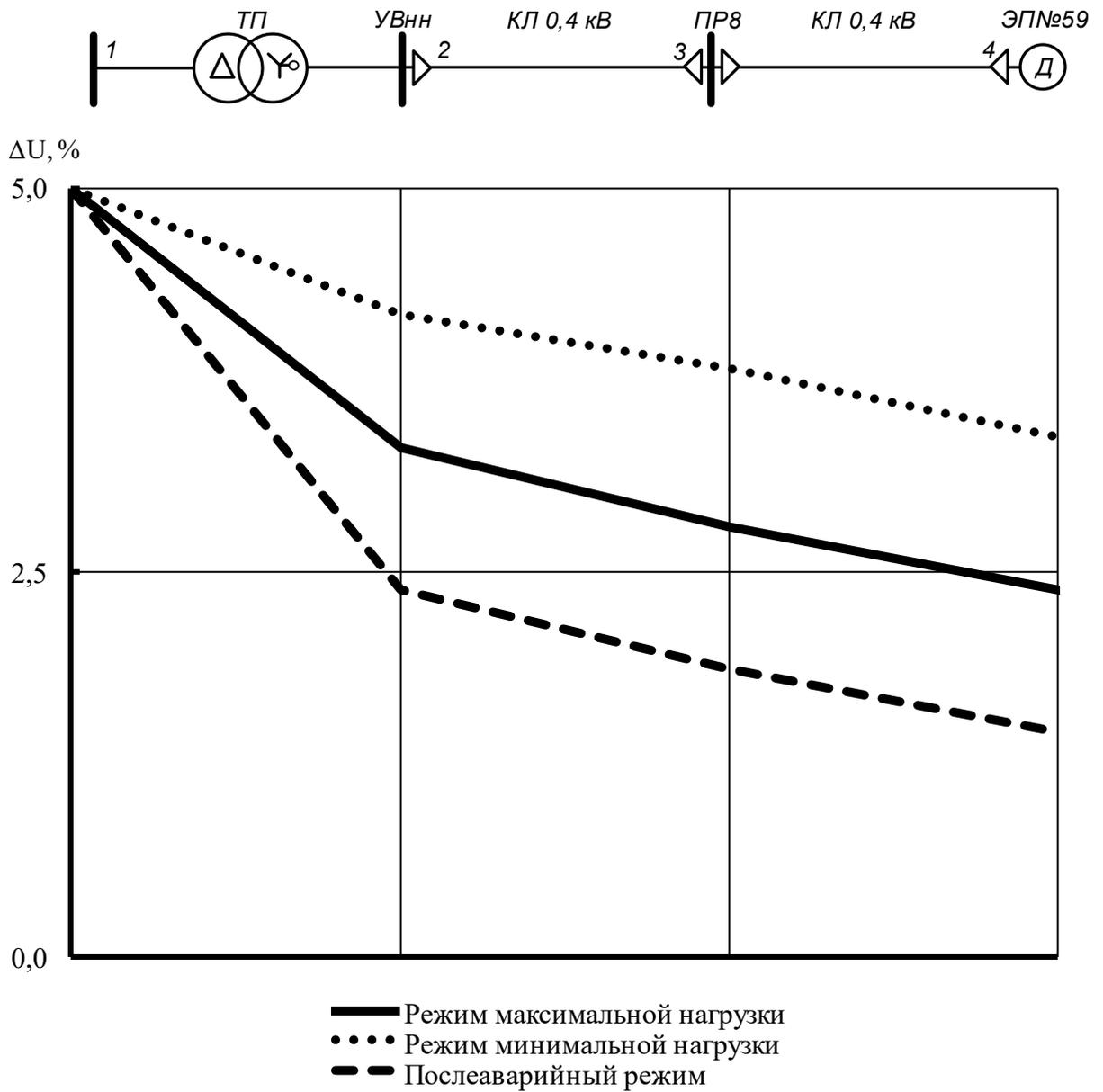


Рисунок 2.3 – Эпюры напряжения

Из эпюр видно, что уровень напряжения на клеммах электроприёмника соответствует норме, следовательно, принятые сечения пригодны для эксплуатации.

2.4 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 2.4 и на её основе схему замещения, рисунок 2.5.

Расчет токов КЗ ведем для участка ТП8 – УВНН – ПР8 – ЭП №59.

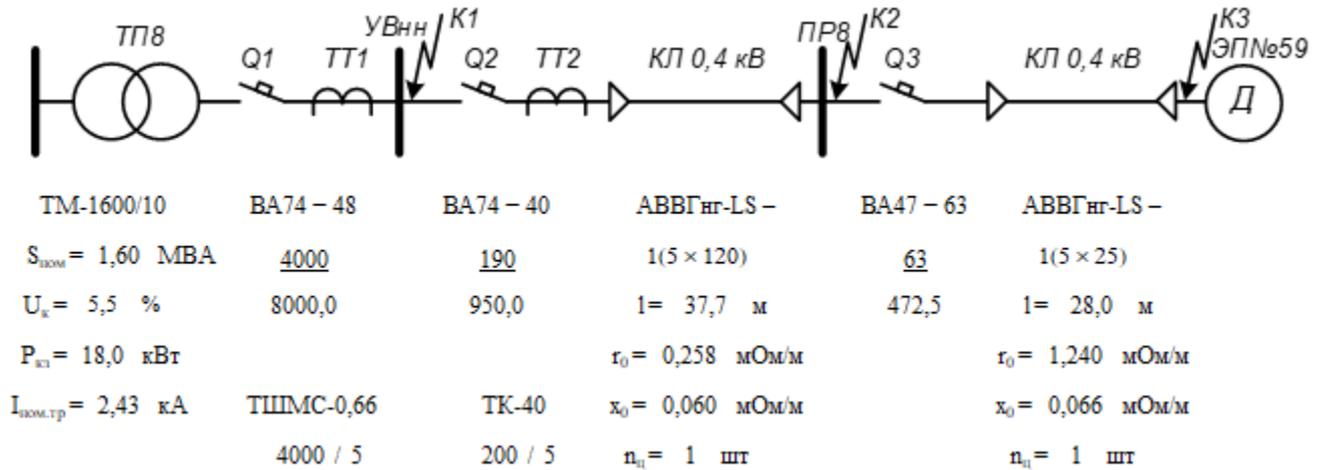


Рисунок 2.4 – Расчетная схема

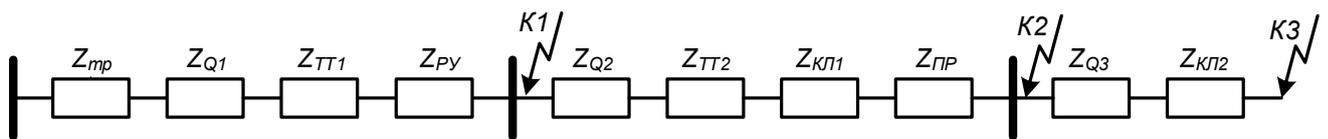


Рисунок 2.5 – Схема замещения

Сопротивления элементов.

Трансформаторы

$$R_{тр} = \frac{U_a}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном.тр}} = \frac{1,125}{100} \cdot \frac{400^2}{1600} = 1,1 \text{ мОм},$$

$$X_{тр} = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном.тр}} = \frac{5,384}{100} \cdot \frac{400^2}{1600} = 5,4 \text{ мОм},$$

$$Z_{тр} = \sqrt{R_{тр}^2 + X_{тр}^2} = \sqrt{1,1^2 + 5,4^2} = 5,5 \text{ мОм}.$$

Сопrotивления 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]

$$Z_{PY} = R_{PY} + R_{H.K} = 15,0 + 0,024 = 15,024 \text{ мОм},$$

$$Z_{IP} = R_{IP} + R_{H.K} = 20,0 + 0,064 = 20,064 \text{ мОм}.$$

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

$$Z_{Q1} = \sqrt{(R_{pac1} + R_{K1})^2 + X_{pac1}^2} = \sqrt{(0,04 + 0,05)^2 + 0,05^2} = 0,10 \text{ мОм},$$

$$Z_{Q2} = \sqrt{(R_{pac2} + R_{K2})^2 + X_{pac2}^2} = \sqrt{(0,40 + 0,60)^2 + 0,50^2} = 1,12 \text{ мОм},$$

$$Z_{Q3} = \sqrt{(R_{pac3} + R_{K3})^2 + X_{pac3}^2} = \sqrt{(5,50 + 1,30)^2 + 4,50^2} = 8,15 \text{ мОм}.$$

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

$$Z_{TT2} = \sqrt{R_{TT2}^2 + X_{TT2}^2} = \sqrt{0,42^2 + 0,67^2} = 0,79 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

$$R_{KL1} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,258 \cdot 37,7}{1} = 9,7 \text{ мОм},$$

$$X_{KL1} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 37,7}{1} = 2,3 \text{ мОм},$$

$$Z_{KL1} = \sqrt{R_{KL1}^2 + X_{KL1}^2} = \sqrt{9,7^2 + 2,3^2} = 10,0 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

$$R_{KL2} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{1,240 \cdot 28,0}{1} = 34,7 \text{ мОм},$$

$$X_{KL2} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,066 \cdot 28,0}{1} = 1,9 \text{ мОм},$$

$$Z_{KL2} = \sqrt{R_{KL2}^2 + X_{KL2}^2} = \sqrt{34,7^2 + 1,9^2} = 34,8 \text{ мОм}.$$

Расчет тока короткого замыкания для точки К1.

Полное сопротивление до точки К1

$$Z_{K1} = Z_{тр} + Z_{Q1} + Z_{ТТ2} + Z_{ру} = 5,5 + 0,10 + 0 + 15,024 = 20,6 \text{ мОм.}$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{K1} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20,6} = 11,2 \text{ кА.}$$

Постоянная времени

$$T_{a1} = \frac{X_{рез1}}{\omega \cdot R_{рез1}} = \frac{5,4}{314 \cdot 16,2} = 0,0011 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд1} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,0011} = 1,000.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К1

$$i_{уд,К1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 1,000 \cdot 11,2 = 15,8 \text{ кА.}$$

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	Z_{Σ} , мОм	$k_{уд}$	T_a , с	I_K , кА	$i_{уд}$, кА
К1	20,6	1,000	0,0011	11,2	15,8
К2	52,6	1,000	0,0006	4,4	6,2
К3	95,5	1,000	0,0005	2,4	3,4

2.5 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 2.8.

Таблица 2.8 – Данные для построения карты селективности

Узел нагрузки	ТП8	ПР8	Станок №59
Расчетный ток I_p , А	3403,3	137,8	–
Пиковый ток $I_{пик}$, А	3949,9	684,4	–
Номинальный ток $I_{ном}$, А	–	–	48,9
Пусковой ток $I_{пуск}$, А	–	–	244,3
Ток КЗ I_k , А	11196,0	4391,6	2418,3
Тип аппарата	ВА74 – 48	ВА74 – 40	ВА47 – 63
Условия срабатывания по току			
– при перегрузке $I_{ном.расц}$, А	4000	190	63,0
– при КЗ $I_{кз}$, А	8000,0	950,0	472,5
Условия срабатывания по времени, с	0,2	0,1	0,02

Карта селективности представлена на рисунке 2.6.

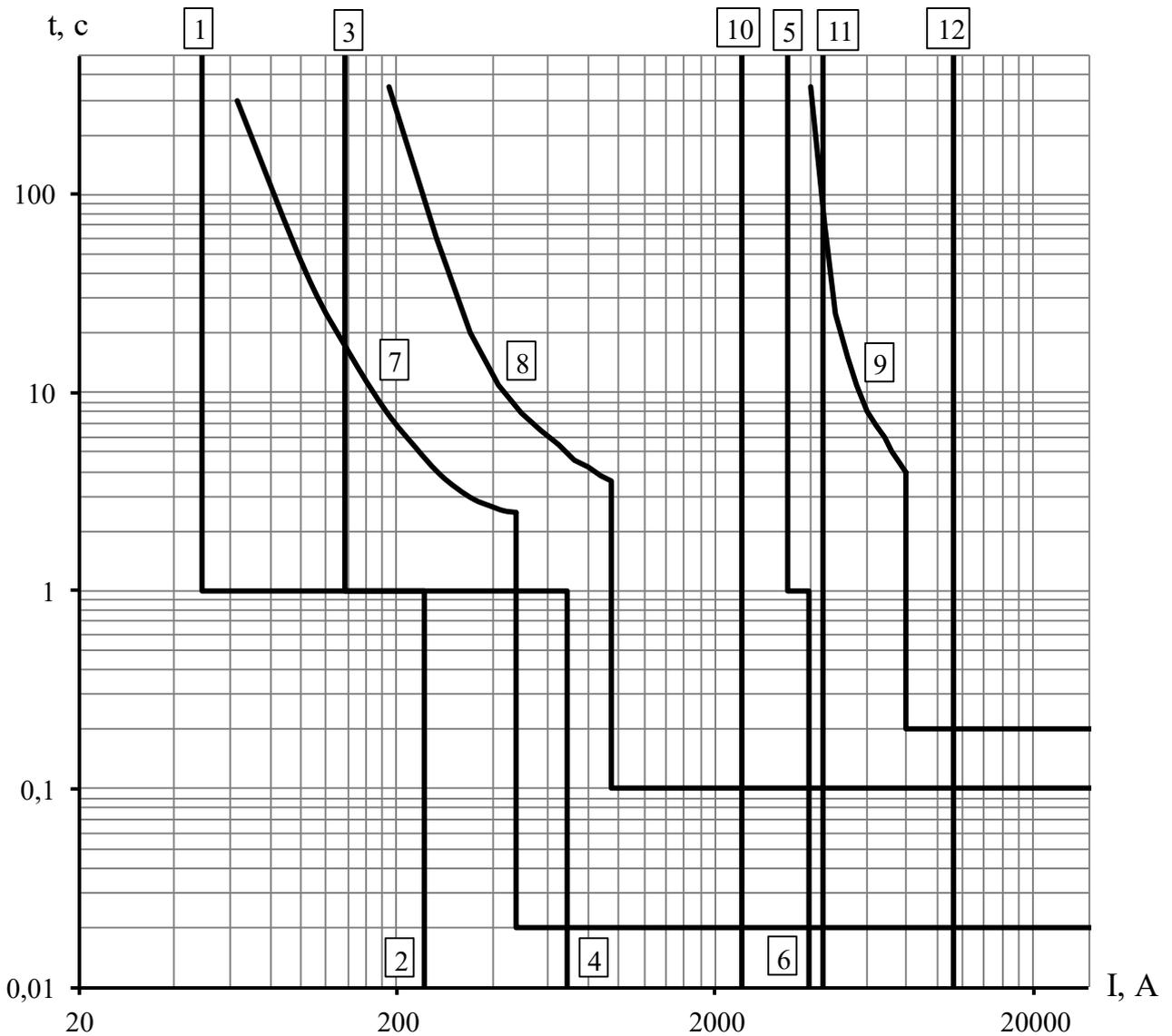
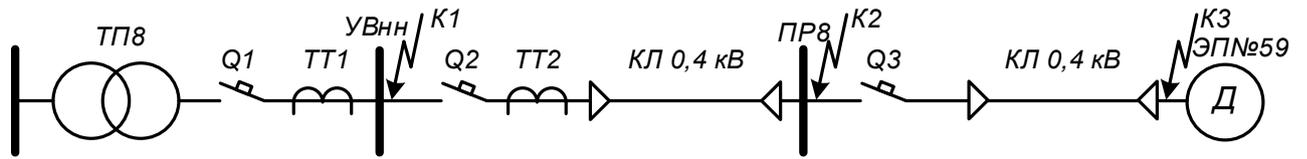


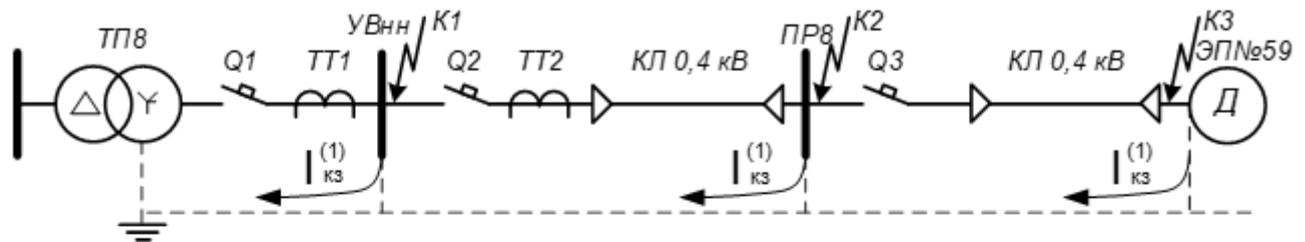
Рисунок 2.6 – Карта селективности действия аппаратов защиты

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.

2.6 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 ТП11 – ПР5 – ЭП №46.



ТМ-1600/10	ВА74 – 48	ВА74 – 40	АВВГнг-LS –	ВА47 – 63	АВВГнг-LS –
$z_{тр} = 16,50$ мОм	$\frac{4000}{8000,0}$	$\frac{190}{950,0}$	1(5 × 120)	$\frac{63}{472,5}$	1(5 × 25)
			l = 37,7 м		l = 28,0 м
			$r_{\phi} = 0,258$ мОм/м		$r_{\phi} = 1,240$ мОм/м
	ТШМС-0,66	ТК-40	$r_{ш} = 0,620$ мОм/м		$r_{ш} = 2,960$ мОм/м
	4000 / 5	200 / 5	$x' = 0,600$ мОм/м		$x' = 0,600$ мОм/м
			$n_{ш} = 1$ шт		$n_{ш} = 1$ шт

Рисунок 2.7 – Расчетная схема

Сопротивления элементов.

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

$$\frac{Z_{тр}}{3} = \frac{16,5}{3} = 5,5 \text{ мОм.}$$

Автоматические выключатели

$$R_{Q1} = 0,09 \text{ мОм,}$$

$$X_{Q1} = 0,05 \text{ мОм,}$$

$$R_{Q2} = 1,0 \text{ мОм,}$$

$$X_{Q2} = 0,50 \text{ мОм,}$$

$$R_{Q3} = 6,80 \text{ мОм,}$$

$$X_{Q3} = 4,50 \text{ мОм.}$$

Трансформатор тока ТТ2

$$R_{ТТ2} = 0,42 \text{ мОм,}$$

$$R_{ТТ2} = 0,67 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛ1

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,258 \cdot 37,7}{1} = 9,7 \text{ мОм},$$

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

$$R_{\text{н}1} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,620 \cdot 37,7}{1} = 23,4 \text{ мОм},$$

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

$$X'_1 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 37,7}{1} = 22,6 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 2} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{1,240 \cdot 28,0}{1} = 34,7 \text{ мОм},$$

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

$$R_{\text{н}2} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{2,960 \cdot 28,0}{1} = 82,8 \text{ мОм},$$

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

$$X'_2 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 28,0}{1} = 16,8 \text{ мОм}.$$

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

$$R_{\text{д}} = 0,03 \text{ мОм}.$$

Сопротивление питающей системы [1, стр. 159]

$$X_{\text{с}} = 3,2 \text{ мОм}.$$

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

Для расчета тока однофазного КЗ рекомендуется упрощенная формула

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

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

Расчет тока короткого замыкания для точки К1.

Сопrotивление петли фаза ноль до точки К1

$$Z_{n1} = \sqrt{(R_d + R_{Q1})^2 + (X_C + X_{Q1})^2} = \\ = \sqrt{(0,03 + 0,09)^2 + (3,2 + 0,05)^2} = 3,3 \text{ мОм.}$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{тр}}{3} + Z_{n1}} = \frac{220}{5,5 + 3,3} = 25,1 \text{ кА.}$$

Проверка условия

$$I_{K1}^{(1)} = 25,1 \text{ кА} > 3 \cdot I_{ном,расц} = 3 \cdot 4,000 = 12,0 \text{ кА,}$$

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

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	Z_Σ , мОм	I_k , кА	$3 \cdot I_{ном,расц}$, кА
К1	3,3	25,1	12,0
К2	43,9	4,4	0,57
К3	166,2	1,28	0,19

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

3 Определение расчетной нагрузки 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 3.1.

Пример расчета (Литейный цех)

$$P_{уст} = 3800 \text{ кВт}, \quad K_c = 0,40, \quad \cos\varphi = 0,75, \quad \operatorname{tg}\varphi = 0,88.$$

Расчетные активная и реактивная мощности корпуса

$$P_p = K_c \cdot P_{уст} = 0,40 \cdot 3800 = 1520,0 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 1520,0 \cdot 0,88 = 1340,5 \text{ кВАр},$$

Номинальная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{н.о} = P_{уд.о} \cdot F_{ц} = 0,005 \cdot 1697 = 8,5 \text{ кВт}.$$

Таблица 3.1 – 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	$F,$ m^2	$P_{уд о},$ Вт/ m^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 до 1000 В															
1 Литейный цех	3800,0	0,40	0,75	0,88	1520,0	1340,5	1697	5	8,5	0,95	8,1	3,9	1528,1	1344,4	2035,3
2 Заводоуправление	150,0	0,40	0,80	0,75	60,0	45,0	900	9	8,1	0,90	7,3	3,5	67,3	48,5	83,0
3 Ремонтно-механический цех	911,5	–	0,66	1,15	297,7	254,8	1380	6	8,3	0,95	7,9	3,8	305,5	258,7	400,3
4 Энергоцех	200,0	0,30	0,70	1,02	60,0	61,2	5934	6	35,6	0,95	33,8	16,4	93,8	77,6	121,8
5 Кузнечный участок	700,0	0,40	0,75	0,88	280,0	246,9	3253	5	16,3	0,95	15,5	7,5	295,5	254,4	389,9
6 Котельная	250,0	0,50	0,75	0,88	125,0	110,2	3253	5	16,3	0,95	15,5	7,5	140,5	117,7	183,3
7 Цех №2	3000,0	0,45	0,75	0,88	1350,0	1190,6	2091	6	12,5	0,95	11,9	5,8	1361,9	1196,4	1812,8
8 АБК 2	400,0	0,40	0,80	0,75	160,0	120,0	755	9	6,8	0,90	6,1	3,0	166,1	123,0	206,7
9 СГП	20,0	0,40	0,70	1,02	8,0	8,2	498	6	3,0	0,95	2,8	1,4	10,8	9,5	14,4
10 Легковой гараж	20,0	0,30	0,80	0,75	6,0	4,5	265	6	1,6	0,60	1,0	0,5	7,0	5,0	8,5
11 Цех №5	2800,0	0,50	0,70	1,02	1400,0	1428,3	2440	6	14,6	0,95	13,9	6,7	1413,9	1435,0	2014,6
12 ОКС	100,0	0,40	0,70	1,02	40,0	40,8	996	6	6,0	0,95	5,7	2,7	45,7	43,6	63,1
13 Склад	20,0	0,30	0,80	0,75	6,0	4,5	1245	6	7,5	0,60	4,5	2,2	10,5	6,7	12,4
14 РМЦ	50,0	0,40	0,70	1,02	20,0	20,4	1245	6	7,5	0,95	7,1	3,4	27,1	23,8	36,1
15 Компрессорная	1000,0	0,55	0,75	0,88	550,0	485,1	365	5	1,8	0,95	1,7	0,8	551,7	485,9	735,2
16 ТГЦ	3500,0	0,40	0,75	0,88	1400,0	1234,7	3718	6	22,3	0,95	21,2	10,3	1421,2	1244,9	1889,4
17 БВК	20,0	0,40	0,70	1,02	8,0	8,2	934	6	5,6	0,95	5,3	2,6	13,3	10,7	17,1
18 РСУ	50,0	0,40	0,70	1,02	20,0	20,4	1046	6	6,3	0,95	6,0	2,9	26,0	23,3	34,9
19 АБК 3	150,0	0,40	0,80	0,75	60,0	45,0	1349	9	12,1	0,90	10,9	5,3	70,9	50,3	86,9

окончание таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20 Насосная	1000,0	0,55	0,75	0,88	550,0	485,1	378	5	1,9	0,95	1,8	0,9	551,8	485,9	735,3
21 ТПА	500,0	0,40	0,70	1,02	200,0	204,0	2527	6	15,2	0,95	14,4	7,0	214,4	211,0	300,8
22 Сварочный участок	100,0	0,35	0,65	1,17	35,0	40,9	1394	6	8,4	0,95	7,9	3,8	42,9	44,8	62,0
23 Транспортный цех	20,0	0,30	0,80	0,75	6,0	4,5	2988	6	17,9	0,60	10,8	5,2	16,8	9,7	19,4
24 УТТ	50,0	0,40	0,70	1,02	20,0	20,4	174	6	1,0	0,95	1,0	0,5	21,0	20,9	29,6
25 Гараж	30,0	0,30	0,80	0,75	9,0	6,8	1183	6	7,1	0,60	4,3	2,1	13,3	8,8	15,9
26 Лаборатория	100,0	0,40	0,80	0,75	40,0	30,0	2913	9	26,2	0,80	21,0	10,2	61,0	40,2	73,0
27 Склад	30,0	0,30	0,80	0,75	9,0	6,8	1552	6	9,3	0,60	5,6	2,7	14,6	9,5	17,4
Территория завода	0	–	–	–	0	0	94998	0,16	15,2	1	15,2	7,4	15,2	7,4	16,9
Итого по 0,38 кВ	18971,5	–	–	–	8239,7	7467,7	$\Sigma F_{ц} = 46471$		302,8	–	268,0	129,8	8507,7	7597,5	11406,2
Итого по предприятию	18971,5	–	–	–	8239,7	7467,7	–	–	–	–	–	–	8507,7	7597,5	11406,2

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{н.о} = 0,95 \cdot 8,5 = 8,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg}\varphi_o = 8,1 \cdot 0,48 = 3,9 \text{ кВАр}.$$

Полная максимальная мощность корпуса

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ = \sqrt{(1520,0 + 8,1)^2 + (1340,5 + 3,9)^2} = 2035,3 \text{ кВА}.$$

Для удобства вынесем отдельно результаты расчетов

$$\sum P_p^H = 8239,7 \text{ кВт}, \quad \sum Q_p^H = 7467,7 \text{ кВАр},$$

$$\sum P_{p.o} = 268,0 \text{ кВт}, \quad \sum Q_{p.o} = 129,8 \text{ кВАр},$$

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

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

$$S_p^H = \sqrt{\left(\sum P_p^H + \sum P_{p.o}\right)^2 + \left(\sum Q_p^H + \sum Q_{p.o}\right)^2} = \\ = \sqrt{(8239,7 + 268,0)^2 + (7467,7 + 129,8)^2} = 11406,2 \text{ кВА}.$$

Полная мощность нагрузки предприятия на шинах напряжением выше 1000 В без учета потерь в линиях внутривозводской сети и трансформаторах

$$P_{p\Sigma} = \sum P_p^H + \sum P_p^B + P_{p.o} = 8239,7 + 0 + 268,0 = 8507,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{p\Sigma} = \sum Q_p^H + \sum Q_p^B + Q_{p.o} = 7467,7 + 0 + 129,8 = 7597,5 \text{ кВАр},$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_{p\Sigma})^2 + (Q_{p\Sigma})^2} = \sqrt{8507,7^2 + 7597,5^2} = 11406,2 \text{ кВА}.$$

Приблизительные потери активной и реактивной мощности в трансформаторах ГПП

$$\Delta P_{т.ГПП} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 11406,2 = 228,1 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{т.ГПП} = 0,10 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 11406,2 = 1140,6 \text{ кВАр},$$

$$\Delta S_{т.ГПП} = \sqrt{(\Delta P_{т.ГПП})^2 + (\Delta Q_{т.ГПП})^2} = \sqrt{228,1^2 + 1140,6^2} = 1163,2 \text{ кВА},$$

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

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

$\Delta S_{т.ГПП}$ – потери полной мощности в трансформаторах ГПП, кВА.

4 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)

$$S_p = 2035,3 \text{ кВА}, \quad S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{8,1^2 + 3,9^2} = 9,0 \text{ кВА},$$
$$x = 269,1 \text{ мм}, \quad y = 50,0 \text{ мм},$$

Радиус окружности для силовой нагрузки корпуса

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{2035,3}{\pi \cdot 0,80}} = 28,5 \text{ мм},$$

где S_p – расчетная полная мощность цеха, кВА;

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

Угол сектора нагрузки освещения корпуса

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot S_{p.o}}{S_p} = \frac{360^\circ \cdot 9,0}{2035,3} = 1,6 \text{ град.}$$

Тогда

$$S_p \cdot x = 2035,3 \cdot 269,1 = 547697,7 \text{ кВА} \cdot \text{мм},$$

$$S_p \cdot y = 2035,3 \cdot 50,0 = 101764,7 \text{ кВА} \cdot \text{мм}.$$

Для построения зоны рассеяния ЦЭН

$$S_x = S_y = \frac{S_p}{\sum_{i=1}^n S_{pi}} = \frac{2035,3}{11399,0} = 0,179,$$

$$\sigma_x^2 = S_x \cdot (x - x_0)^2 = 0,179 \cdot (269,1 - 206,0)^2 = 711,080,$$

$$\sigma_y^2 = S_y \cdot (y - y_0)^2 = 0,179 \cdot (50,0 - 58,8)^2 = 13,949.$$

Координаты центра электрических нагрузок предприятия

$$x_0 = \frac{\sum(S_{p,i} \cdot x_i)}{\sum S_{p,i}} = \frac{2348110,5}{11399,0} = 206,0 \text{ мм},$$

$$y_0 = \frac{\sum(S_{p,i} \cdot y_i)}{\sum S_{p,i}} = \frac{670702,9}{11399,0} = 58,8 \text{ мм}.$$

Построение зоны рассеяния ЦЭН.

Параметры нормального закона распределения

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n S_{xi} \cdot (x_i - x_0)^2 = 2573,3, \quad \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n S_{yi} \cdot (y_i - y_0)^2 = 500,3,$$

$$h_x = \frac{1}{\sqrt{\sigma_x} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2573,3} \cdot \sqrt{2}} = 0,0139,$$

$$h_y = \frac{1}{\sqrt{\sigma_y} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{500,3} \cdot \sqrt{2}} = 0,0316,$$

Полуоси эллипса рассеяния

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0139} = 124,3 \text{ мм}, \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0316} = 54,8 \text{ мм}.$$

Результаты расчетов располагаются в таблице 4.1.

Картограмма нагрузок приведена на рисунке 4.1.

Таблица 4.1 – 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	2035,3	9,0	28,5	1,6	269,1	50,0	547697,7	101764,7	0,179	711,080	13,949
2 Заводоуправление	83,0	8,1	5,7	35,2	217,5	6,3	18045,7	522,7	0,007	0,964	20,091
3 Ремонтно-механический цех	400,3	8,7	12,6	7,9	271,1	14,0	108527,0	5604,5	0,035	148,867	70,607
4 Энергоцех	121,8	37,6	7,0	111,1	222,1	108,1	27041,0	13161,3	0,011	2,771	25,919
5 Кузнечный участок	389,9	17,2	12,5	15,9	243,1	29,6	94784,8	11541,1	0,034	47,098	29,242
6 Котельная	183,3	17,2	8,5	33,7	215,2	29,6	39438,5	5424,6	0,016	1,363	13,745
7 Цех №2	1812,8	13,2	26,9	2,6	223,1	76,0	404427,4	137770,0	0,159	46,540	46,835
8 АБК 2	206,7	6,8	9,1	11,8	246,1	6,3	50862,8	1302,1	0,018	29,165	50,048
9 СГП	14,4	3,2	2,4	78,6	190,6	82,5	2751,6	1191,0	0,001	0,300	0,709
10 Легковой гараж	8,5	1,1	1,8	44,6	168,6	75,2	1440,0	642,3	0,001	1,048	0,201
11 Цех №5	2014,6	15,5	28,3	2,8	222,7	57,5	448640,8	115836,8	0,177	49,331	0,317
12 ОКС	63,1	6,3	5,0	36,0	168,1	138,0	10609,8	8710,0	0,006	7,950	34,697
13 Склад	12,4	5,0	2,2	144,3	160,6	123,0	1995,3	1528,2	0,001	2,246	4,487
14 РМЦ	36,1	7,9	3,8	78,6	111,0	123,0	4006,1	4439,2	0,003	28,570	13,034
15 Компрессорная	735,2	1,9	17,1	0,9	148,8	73,0	109396,3	53668,9	0,064	210,968	12,934
16 ТГЦ	1889,4	23,5	27,4	4,5	165,5	50,2	312689,2	94845,9	0,166	271,772	12,370
17 БВК	17,1	5,9	2,6	124,4	164,7	27,0	2818,2	462,0	0,002	2,560	1,522
18 РСУ	34,9	6,6	3,7	68,4	137,6	142,2	4799,1	4959,5	0,003	14,312	21,262
19 АБК 3	86,9	12,1	5,9	50,3	94,5	116,7	8216,2	10146,4	0,008	94,813	25,536
20 Насосная	735,3	2,0	17,1	1,0	126,1	83,5	92715,4	61393,7	0,065	411,705	39,228
21 ТПА	300,8	16,0	10,9	19,2	131,2	51,7	39468,6	15552,8	0,026	147,629	1,345
22 Сварочный участок	62,0	8,8	5,0	51,2	127,1	28,5	7885,0	1768,1	0,005	33,874	5,009
23 Транспортный цех	19,4	12,0	2,8	222,2	132,2	118,0	2560,1	2285,1	0,002	9,251	5,946
24 УТГ	29,6	1,1	3,4	13,4	133,1	74,4	3941,5	2203,2	0,003	13,803	0,629
25 Гараж	15,9	4,7	2,5	107,0	61,6	139,0	980,6	2212,7	0,001	29,116	8,974
26 Лаборатория	73,0	23,3	5,4	114,9	26,7	136,4	1949,4	9958,5	0,006	205,892	38,530
27 Склад	17,4	6,2	2,6	128,6	24,3	104,0	422,4	1807,9	0,002	50,344	3,110
Итого	11399,0	–	–	–	–	–	2348110,5	670702,9	–	2573,3	500,3

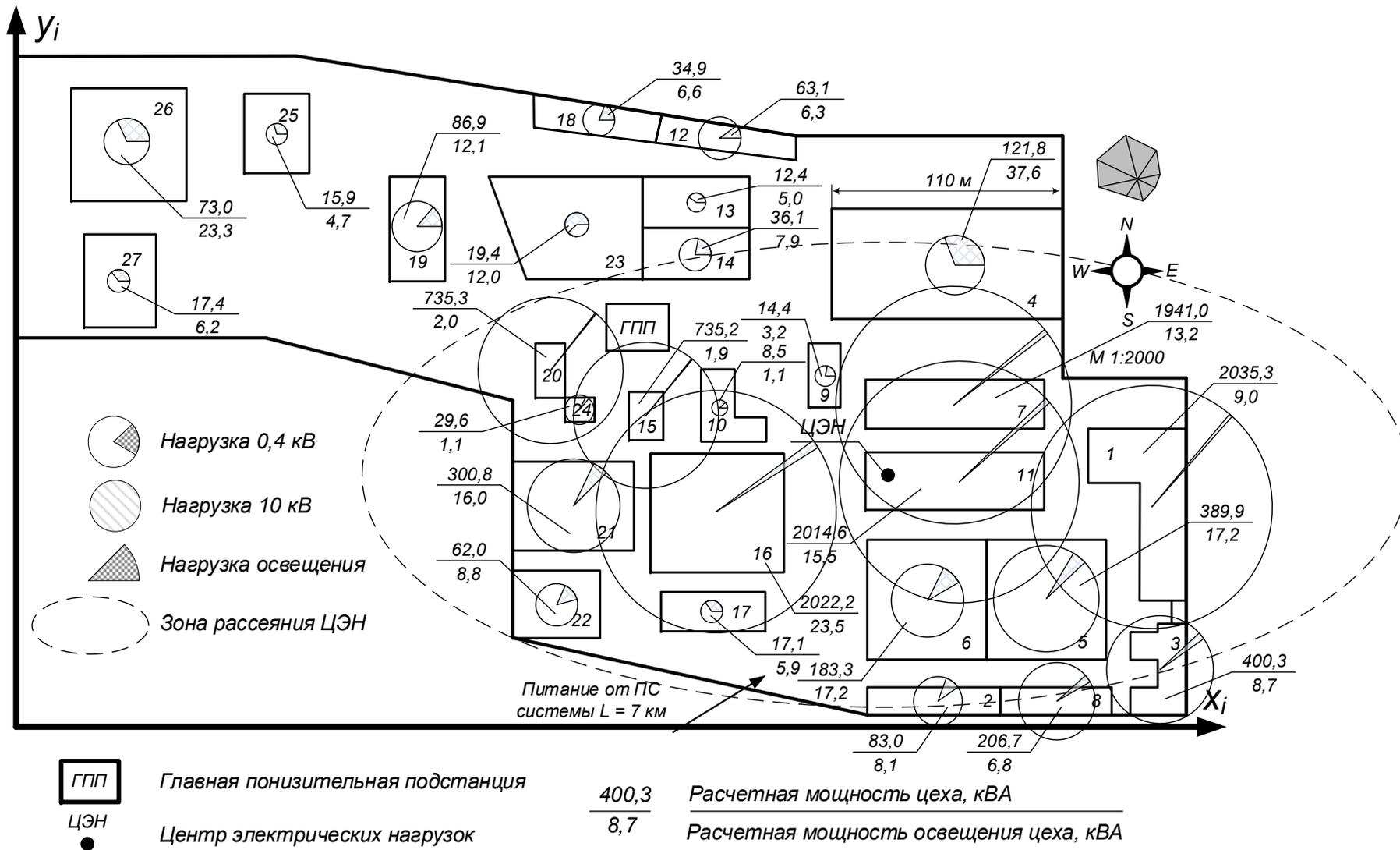


Рисунок 4.1 – Картограмма нагрузок

5 Схема внутриводского электроснабжения

5.1 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

Характеристика среды производственных помещений и категория потребителей электроэнергии приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Характеристика среды производственных помещений и категория потребителей электроэнергии

Потребитель	Категория	Среда
1 Литейный цех	II	Жаркая
2 Заводоуправление	III	Нормальная
3 Ремонтно-механический цех	III	Нормальная
4 Энергоцех	III	Жаркая
5 Кузнечный участок	II	Жаркая
6 Котельная	II	Нормальная
7 Цех №2	II	Нормальная
8 АБК 2	III	Нормальная
9 СГП	III	Нормальная
10 Легковой гараж	III	Нормальная
11 Цех №5	II	Нормальная
12 ОКС	III	Нормальная
13 Склад	III	Нормальная
14 РМЦ	III	Нормальная
15 Компрессорная	II	Жаркая
16 ТГЦ	II	Нормальная
17 БВК	III	Нормальная
18 РСУ	III	Нормальная
19 АБК 3	III	Сырая
20 Насосная	II	Нормальная
21 ТПА	II	Нормальная
22 Сварочный участок	III	Нормальная
23 Транспортный цех	III	Нормальная
24 УТТ	III	Нормальная
25 Гараж	III	Нормальная
26 Лаборатория	III	Нормальная
27 Склад	III	жаркая

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

На основании расчетов, на генплане предприятия производим расстановку цеховых трансформаторных подстанций, рисунок 5.1.

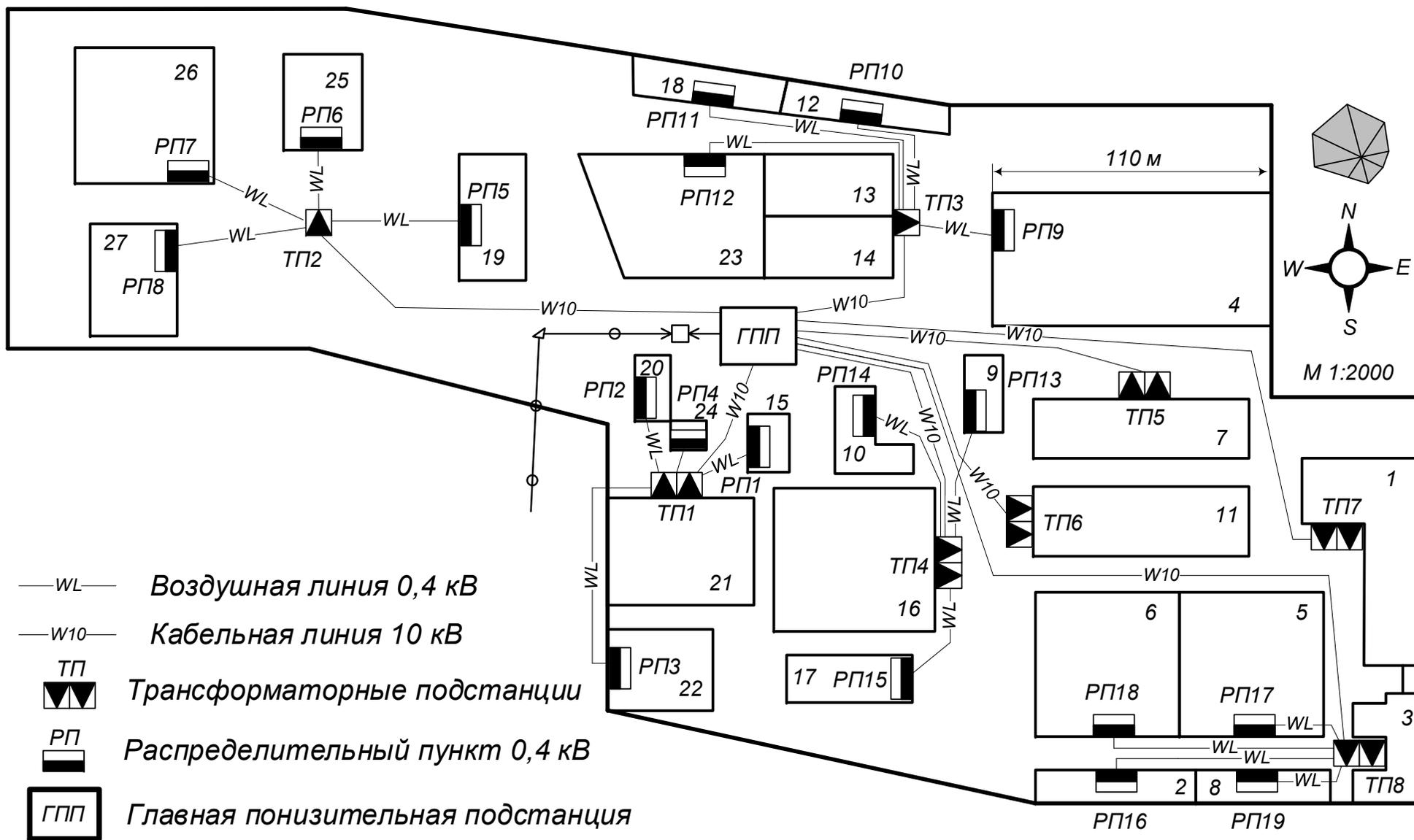


Рисунок 5.1 – План расположения трансформаторных подстанций на территории предприятия

Загрузка двухтрансформаторных подстанций по полной мощности не должна превышать 50%, однострансформаторных – 90%.

В качестве примера произведем выбор мощности трансформаторов для ТП5

$$S_{\text{т.расч}} = \frac{S_{\text{р7}}}{\beta_{\text{т}} \cdot n_{\text{т}}} = \frac{1812,8}{0,5 \cdot 2} = 1812,8 \text{ кВА},$$

где $S_{\text{р}}$ – расчетная полная мощность цеха, кВА;

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

$n_{\text{т}}$ – количество трансформаторов, шт.

Принимаем трансформатор 2500 кВА. Рассчитаем фактический коэффициент загрузки при работе трансформаторов в нормальном режиме

$$\beta_{\text{т}} = \frac{S_{\text{р7}}}{S_{\text{НОМ.т}} \cdot n_{\text{т}}} = \frac{1812,8}{2500 \cdot 2} = 0,36.$$

В случае выхода из строя одного трансформатора

$$\beta_{\text{т.п/ав}} = \frac{S_{\text{р3}} + S_{\text{р4}}}{S_{\text{НОМ.т}} \cdot n_{\text{т}}} = \frac{1812,8}{2500 \cdot 1} = 0,73.$$

Результаты расчетов приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

№ п/п	Наименование объектов	№ ПС	$P_{\text{р}}$, кВт	$S_{\text{р}}$, кВА	$S_{\text{тр.расч}}$, кВА	$S_{\text{тр.справ}}$, кВА	Норм. режим		П/ав режим	
							$n_{\text{т.норм}}$, шт	$\beta_{\text{т.норм}}$	$n_{\text{т.п/ав}}$, шт	$\beta_{\text{т.п/ав}}$
1	15, 20-22, 24	ТП1	1381,9	1862,9	1862,9	2500	2	0,37	1	0,75
2	19, 25-27	ТП2	159,7	193,3	386,5	400	1	0,48	–	–
3	4, 12-14, 18, 23	ТП3	219,8	287,6	575,2	630	1	0,46	–	–
4	9, 10, 16, 17	ТП4	1452,3	1929,4	1929,4	2500	2	0,39	1	0,77
5	7	ТП5	1361,9	1812,8	1812,8	2500	2	0,36	1	0,73
6	11	ТП6	1413,9	2014,6	2014,6	2500	2	0,40	1	0,81
7	1	ТП7	1528,1	2035,3	2035,3	2500	2	0,41	1	0,81
8	2, 3, 5, 6, 8	ТП8	974,9	1263,1	1263,1	1600	2	0,39	1	0,79

Параметры выбранных трансформаторов приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Данные по трансформаторам [9, стр. 157, табл. 7.3]

Тип	$S_{\text{НОМ}}$, МВА	$U_{\text{ВН}}$, кВ	$U_{\text{НН}}$, кВ	$P_{\text{ХХ}}$, кВт	$Q_{\text{ХХ}}$, кВАр	$P_{\text{КЗ}}$, кВт	$Q_{\text{КЗ}}$, кВАр	$U_{\text{К}}$, %	$I_{\text{ХХ}}$, %
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
ТМ-1600/10	1,60	10,0	0,4	3,30	20,8	18,0	88,0	5,5	1,30
ТМ-2500/10	2,50	10,0	0,4	4,60	25,0	25,0	137,5	5,5	1,00

Потери мощности в трансформаторах цеховых подстанций на примере ТП1

$$\Delta P_T = n_T \cdot (\Delta P_{xx} + \beta^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 2 \cdot (4,60 + 0,37^2 \cdot 25,0) = 16,1 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{xx} + \beta^2 \cdot \Delta Q_{кз}) = 2 \cdot (25,0 + 0,37^2 \cdot 137,5) = 88,2 \text{ кВАр},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{16,1^2 + 88,2^2} = 89,6 \text{ кВА}.$$

Дальнейший расчет сведем в таблицу в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Расчет потерь мощности в трансформаторах

№ п/п	№ ПС	S _p , кВА	S _{ном.т.} , кВА	n _т , шт	β _т	P _{xx} , кВт	Q _{xx} , кВАр	P _{кз} , кВт	Q _{кз} , кВАр	ΔP _т , кВт	ΔQ _т , кВАр	ΔS _т , кВА
1	ТП1	1862,9	2500	2	0,37	4,60	25,0	25,0	137,5	16,1	88,2	89,6
2	ТП2	193,3	400	1	0,48	1,20	8,4	5,5	22,0	2,5	13,5	13,8
3	ТП3	287,6	630	1	0,46	1,56	12,6	8,5	34,7	3,3	19,8	20,1
4	ТП4	1929,4	2500	2	0,39	4,60	25,0	25,0	137,5	16,6	91,0	92,5
5	ТП5	1812,8	2500	2	0,36	4,60	25,0	25,0	137,5	15,8	86,1	87,6
6	ТП6	2014,6	2500	2	0,40	4,60	25,0	25,0	137,5	17,3	94,6	96,2
7	ТП7	2035,3	2500	2	0,41	4,60	25,0	25,0	137,5	17,5	95,6	97,2
8	ТП8	1263,1	1600	2	0,39	3,30	20,8	18,0	88,0	12,2	69,0	70,1
Итого										89,2	488,8	496,9

Однолинейная схема питания цеховых трансформаторных подстанций приведена на рисунке 5.2.

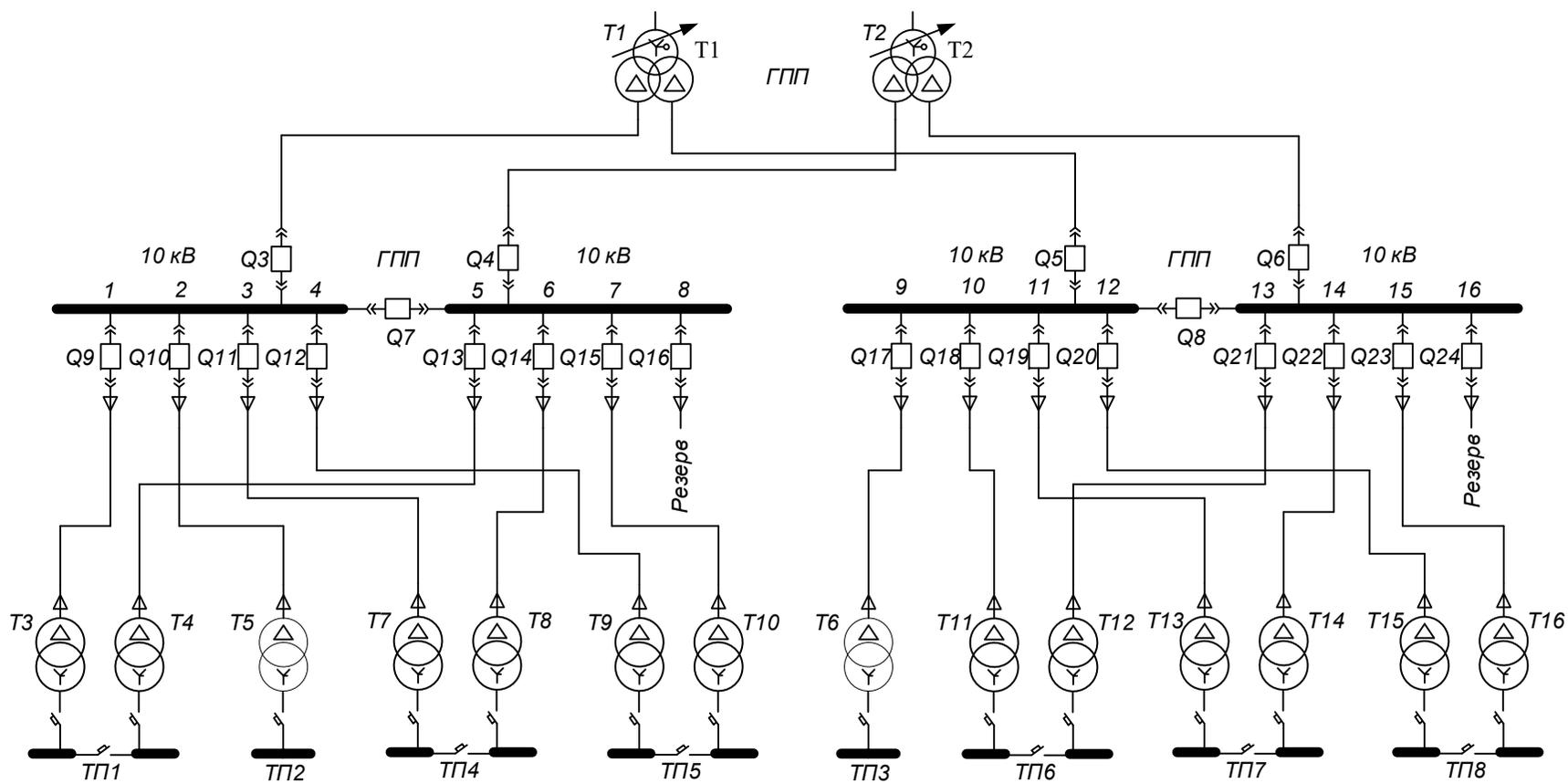


Рисунок 5.2 – Упрощенная схема питания цеховых подстанций и высоковольтных электроприёмников

5.2 Компенсация реактивной мощности

При выборе средств компенсации реактивной мощности решающее значение имеет количество установленных трансформаторов, наличие синхронных и асинхронных двигателей и нагрузки со стороны напряжения выше 1000 В.

Схема распределения реактивной мощности приведена на рисунке 5.3.

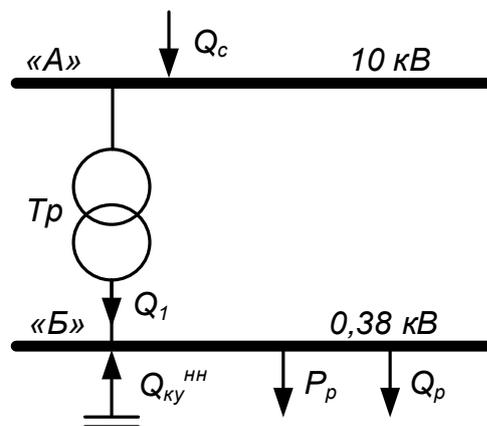


Рисунок 5.3 – Схема распределения реактивной мощности

Реактивная мощность, передаваемая в сеть предприятия от системы

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,29 \cdot 8507,7 = 2467,2 \text{ кВАр},$$

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

На данном предприятии отсутствует высоковольтная нагрузка

$$Q_{BH} = 0.$$

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

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sqrt{\left(\sum (N_T \cdot \beta_T \cdot S_{\text{НОМ.Т}})\right)^2 - \left(\sum (P_p^H + P_{p.o})\right)^2} = \\ &= \sqrt{11399,0^2 + 8507,7^2} = 7586,6 \text{ кВАр}. \end{aligned}$$

Мощность конденсаторных установок на напряжении выше 1000 В

$$Q_{\text{КУ. расч}} = Q_{BH} + Q_p - Q_c = 0 + 7586,6 - 2467,2 = 5119,4 \text{ кВАр}.$$

Принимаем к установке в узле "А" комплектные конденсаторные установки типа УК-6,3(10,5)1500У1 [11, стр. 167, табл. П6.2].

Реактивная мощность, генерируемая одной комплектной конденсаторной установкой

$$Q = \left(\frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ.КУ}}} \right)^2 \cdot Q_{\text{НОМ.КУ}} = \left(\frac{10}{10,5} \right)^2 \cdot 1500 = 1360,5 \text{ кВАр},$$

где $Q_{\text{НОМ.КУ}}$ – номинальная мощность конденсаторной установки, кВАр.

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

$$n_{\text{КУ.расч}} = \frac{Q_{\text{КУ.расч}}}{Q} = \frac{5119,4}{1360,5} = 3,8 \text{ шт},$$

принимаем $n_{\text{КУ}} = 4$ шт.

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

$$Q_{\text{КУ}}^{\text{"А"}} = Q \cdot n_{\text{КУ}} = 1360,5 \cdot 4 = 5442,2 \text{ кВАр}.$$

Мощность конденсаторных установок на напряжении до 1000 В

$$Q_{\text{КУ.расч}} = \sum (Q_{\text{р}}^{\text{н}} + Q_{\text{р.о}}) - Q_1 = 7597,5 - 7586,6 = 10,9 \text{ кВАр}.$$

Принимаем к установке в узле "Б" комплектные конденсаторные установки типа УКМ 58-0,4-5 УЗ [12].

Реактивная мощность, генерируемая одной комплектной конденсаторной установкой

$$Q = \left(\frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ.КУ}}} \right)^2 \cdot Q_{\text{НОМ.КУ}} = \left(\frac{0,38}{0,40} \right)^2 \cdot 5 = 4,5 \text{ кВАр}.$$

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

$$n_{\text{КУ.расч}} = \frac{Q_{\text{КУ.расч}}}{Q} = \frac{10,9}{4,5} = 2,4 \text{ шт},$$

принимаем $n_{\text{КУ}} = 2$ шт.

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

$$Q_{\text{КУ}}^{\text{"Б"}} = Q \cdot n_{\text{КУ}} = 4,5 \cdot 2 = 9,0 \text{ кВАр}.$$

Суммарная генерируемая мощность компенсирующих устройств

$$Q_{КУ} = Q_{КУ}^{''A''} + Q_{КУ}^{''B''} = 5442,2 + 9,0 = 5451,2 \text{ кВАр.}$$

Полная мощность нагрузки предприятия на шинах напряжением выше 1000 В без учета потерь в линиях внутривародской сети и трансформаторах, с учетом компенсации реактивной мощности

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + (Q_{p\Sigma} - Q_{КУ})^2} = \sqrt{8507,7^2 + (7597,5 - 5451,2)^2} = \\ = \sqrt{8507,7^2 + 2146,3^2} = 8774,2 \text{ кВА.}$$

5.3 Схема внутривародской распределительной сети выше 1000 В

Сечение кабельных линий выбираются по экономической плотности тока. Для этого необходимо знать число часов использования максимальной нагрузки. Эта величина определяется из суточного графика нагрузок предприятия, рисунок 5.4.

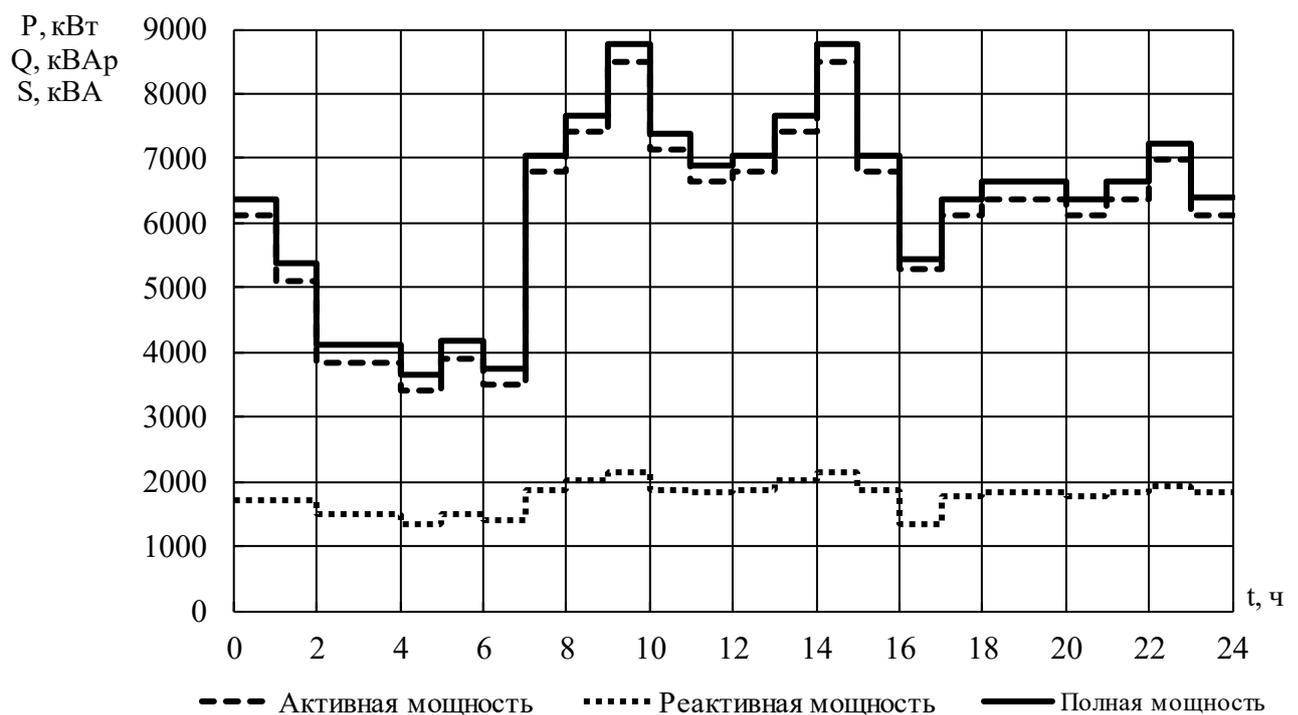


Рисунок 5.4 – Суточный график нагрузок предприятия

Суточный график активной нагрузки перестраиваем в годовой график нагрузок по продолжительности, рисунок 5.5.

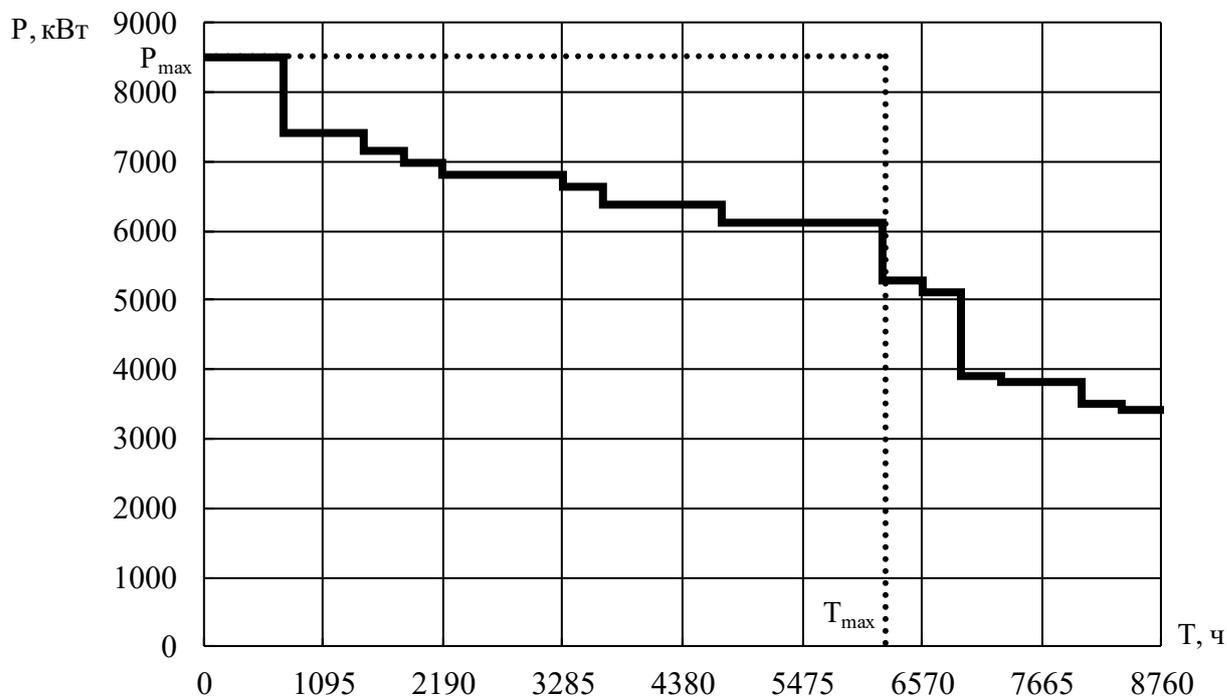


Рисунок 5.5 – Годовой график нагрузки по продолжительности

Количество потребленной за год электрической энергии

$$W_{\text{год}} = 53100517,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Число часов использования максимальной нагрузки

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\text{max}}} = \frac{53100517,8}{8507,7} = 6241,5 \text{ ч}.$$

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

Примеры расчета

Участок ГРУ – ТП

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_{\text{т}} \cdot S_{\text{ном.т}} + \Delta S_{\text{т}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 2500 + 89,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 146,9 \text{ А},$$

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

$n_{\text{т}}$ – количество трансформаторов, шт;

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

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{n_T \cdot S_{\text{НОМ.Т}} + \Delta S_T}{(n_{\text{ц}} - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2 \cdot 2500 + 89,6}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 293,9 \text{ А.}$$

Экономическое сечение

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{146,9}{1,2} = 122,4 \text{ мм}^2,$$

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

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки АПвВнг [20] S = 120/25 мм² с $I_{\text{доп}} = 298 \text{ А}$.

Фактическая длина кабельной линии

$$\begin{aligned} L_{\text{факт}} &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = \\ &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + 0,049) = 0,62 \text{ км,} \end{aligned}$$

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 и с учётом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,90 \cdot 298 = 268,2 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 146,9 \text{ А,}$$

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

$$1,3 \cdot I'_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 268,2 = 348,7 \text{ А} > I_{\text{расч.п/ав}} = 293,9 \text{ А.}$$

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

$$\cos \varphi = 0,74, \quad \sin \varphi = 0,67,$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left(\frac{r_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= 3 \cdot 146,9 \cdot 0,062 \cdot \left(\frac{0,253}{2} \cdot 0,74 + \frac{0,166}{2} \cdot 0,67 \right) = 4,116 \text{ В,} \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\text{НОМ, \%}} = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100\% = \frac{4,116}{10000} \cdot 100\% = 0,041\% < 5\%.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Потери мощности в линии

$$\Delta S_{л} = \left(\frac{S_p}{U_{ном}} \right)^2 \cdot \sqrt{R^2 + X^2} = \left(\frac{1,863}{10} \right)^2 \cdot \sqrt{0,008^2 + 0,005^2} = 0,328 \text{ кВА.}$$

Дальнейшие расчеты сводим в таблицы 5.5, 5.6 и 5.7

Таблица 5.5 – Выбор сечений проводников сети выше 1000 В

Участок	Мощность участка, кВА	$\Delta S_{г,}$ 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	5000,0	89,6	10	0,062	2	146,9	293,9	122,4	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,90	268,2	348,7
ГПП–ТП2	400,0	13,8	10	0,190	1	23,9	–	19,9	АПВВнг-1(3 × 70/25)	0,90	268,2	–
ГПП–ТП3	630,0	20,1	10	0,082	1	37,5	–	31,3	АПВВнг-1(3 × 70/25)	0,90	268,2	–
ГПП–ТП4	5000,0	92,5	10	0,132	2	147,0	294,0	122,5	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,75	223,5	290,6
ГПП–ТП5	5000,0	87,6	10	0,160	2	146,9	293,7	122,4	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,80	238,4	309,9
ГПП–ТП6	5000,0	96,2	10	0,140	2	147,1	294,2	122,6	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,75	223,5	290,6
ГПП–ТП7	5000,0	97,2	10	0,292	2	147,1	294,3	122,6	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,80	238,4	309,9
ГПП–ТП8	3200,0	70,1	10	0,367	2	94,4	188,8	78,7	АПВВнг-2(3 × 70/25)	0,75	223,5	290,6

Таблица 5.6 – Определение потерь напряжения во внутривародской 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	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,062	146,9	2	0,253	0,166	0,74	0,67	0,041
ГПП–ТП2	10	АПВВнг-1(3 × 70/25)	0,190	23,9	1	0,443	0,177	0,83	0,56	0,063
ГПП–ТП3	10	АПВВнг-1(3 × 70/25)	0,082	37,5	1	0,443	0,177	0,76	0,65	0,042
ГПП–ТП4	10	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,132	147,0	2	0,253	0,166	0,75	0,66	0,087
ГПП–ТП5	10	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,160	146,9	2	0,253	0,166	0,75	0,66	0,105
ГПП–ТП6	10	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,140	147,1	2	0,253	0,166	0,70	0,71	0,092
ГПП–ТП7	10	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,292	147,1	2	0,253	0,166	0,75	0,66	0,193
ГПП–ТП8	10	АПВВнг-2(3 × 70/25)	0,367	94,4	2	0,443	0,177	0,77	0,64	0,236

Таблица 5.7 – Определение потерь мощности в линиях

Участок	U _{ном} , кВ	Марка провода	L _{факт} , км	n _ц , шт	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	R, Ом	X, Ом	S _p , МВА	ΔS _л , кВА
ГПП–ТП1	10	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,062	2	0,253	0,166	0,008	0,005	1,863	0,328
ГПП–ТП2	10	АПВВнг-1(3 × 70/25)	0,190	1	0,443	0,177	0,084	0,034	0,193	0,034
ГПП–ТП3	10	АПВВнг-1(3 × 70/25)	0,082	1	0,443	0,177	0,036	0,014	0,288	0,032
ГПП–ТП4	10	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,132	2	0,253	0,166	0,017	0,011	1,929	0,741
ГПП–ТП5	10	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,160	2	0,253	0,166	0,020	0,013	1,813	0,794
ГПП–ТП6	10	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,140	2	0,253	0,166	0,018	0,012	2,015	0,861
ГПП–ТП7	10	АПВВнг-2(3 × 120/25)	0,292	2	0,253	0,166	0,037	0,024	2,035	1,827
ГПП–ТП8	10	АПВВнг-2(3 × 70/25)	0,367	2	0,443	0,177	0,081	0,032	1,263	1,397
Итого										6,0

Таким образом, был произведен выбор питающих проводников и выполнены проверки по условию нагрева и по допустимой потере напряжения. Так же были рассчитаны потери мощности в линиях внутризаводской сети. Все проводники пригодны для эксплуатации.

6 Схема внешнего электроснабжения

6.1 Выбор трансформаторов ГПП

Для начала необходимо определить расчетную мощность ГПП с учетом потерь в трансформаторах и в распределительной сети

$$\begin{aligned} S_{p,ГПП} &= S_{тр\Sigma} + S_{в.н\Sigma} + \Delta S_{тр.ГПП} + \Delta S_{тр} + \Delta S_{л} = \\ &= 29230 + 0 + 1163,2 + 89,6 + 6,0 = 30488,9 \text{ кВА.} \end{aligned}$$

Расчетная мощность трансформаторов ГПП

$$S_{тр.расч} = \frac{S_{p,ГПП}}{\beta_{тр} \cdot n_{тр}} = \frac{30488,9}{0,5 \cdot 2} = 30488,9 \text{ кВА.}$$

Принимаем к установке на ГПП по два трансформатора мощностью

$$S_{ном.тр} = 40000 \text{ кВА.}$$

Коэффициент загрузки трансформатора в максимальном режиме

$$\beta_{тр.расч} = \frac{S_{p,ГПП}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{30488,9}{2 \cdot 40000} = 0,38.$$

Коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме

$$\beta_{тр.п/ав} = \frac{S_{p,ГПП}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{30488,9}{1 \cdot 40000} = 0,76.$$

В послеаварийном режиме работы возможно отключение нагрузки III категории для бесперебойного электроснабжения нагрузки II категории. В этом случае коэффициент загрузки трансформатора

$$\beta_{тр.п/ав} = \frac{S_{p,ГПП} - S_{н.III}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{30488,9 - 1302,6}{1 \cdot 40000} = 0,73.$$

Таким образом, выбранная мощность трансформаторов удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Для определения экономически целесообразной величины напряжения питающей линии ГПП воспользуемся формулой Илларионова

$$U_{эк} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{27} + \frac{2500}{30,489}}} = 99,7 \text{ кВ,}$$

где L – длина питающей линии, км;

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

С учетом рекомендаций принимаем напряжение $U_{\text{НОМ}} = 110$ кВ.

Параметры выбранных трансформаторов приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Параметры трансформаторов [15]

Тип	$S_{\text{НОМ}}$, МВА	$U_{\text{ВН}}$, кВ	$U_{\text{НН}}$, кВ	$P_{\text{ХХ}}$, кВт	$Q_{\text{ХХ}}$, кВАр	$P_{\text{КЗ}}$, кВт	$Q_{\text{КЗ}}$, кВАр	$U_{\text{к}}$, %	$I_{\text{ХХ}}$, %
ТРДН-40000/110	40,0	115	10,5	36,0	260,0	172,0	4200,0	10,5	0,65

6.2 Выбор схемы внешнего электроснабжения

Принимаем схему внешнего электроснабжения в виде двух блоков с выключателями и неавтоматической перемычкой. При нарушении в трансформаторе, сработает защита и подаст сигнал на отключение выключателя в цепях трансформатора на низкой и высокой стороне. Секционный выключатель низкой стороны подключит секцию, оставшуюся без напряжения. Разъединители в ремонтной перемычке нормально отключены. В случае вывода в ремонт трансформатора или выключателя в цепи трансформатора есть возможность оставить в работе обе питающие линии путем включения разъединителей перемычки. Причем сначала включается перемычка, а затем отключаются цепи трансформатора. Схема представлена на рисунке 6.1.

Выбор сечения провода проводится по экономической плотности тока.

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр.ГПП}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2 \cdot 40000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 209,9 \text{ А.}$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{\text{расч.п/ав}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр.ГПП}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2 \cdot 40000}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 419,9 \text{ А.}$$

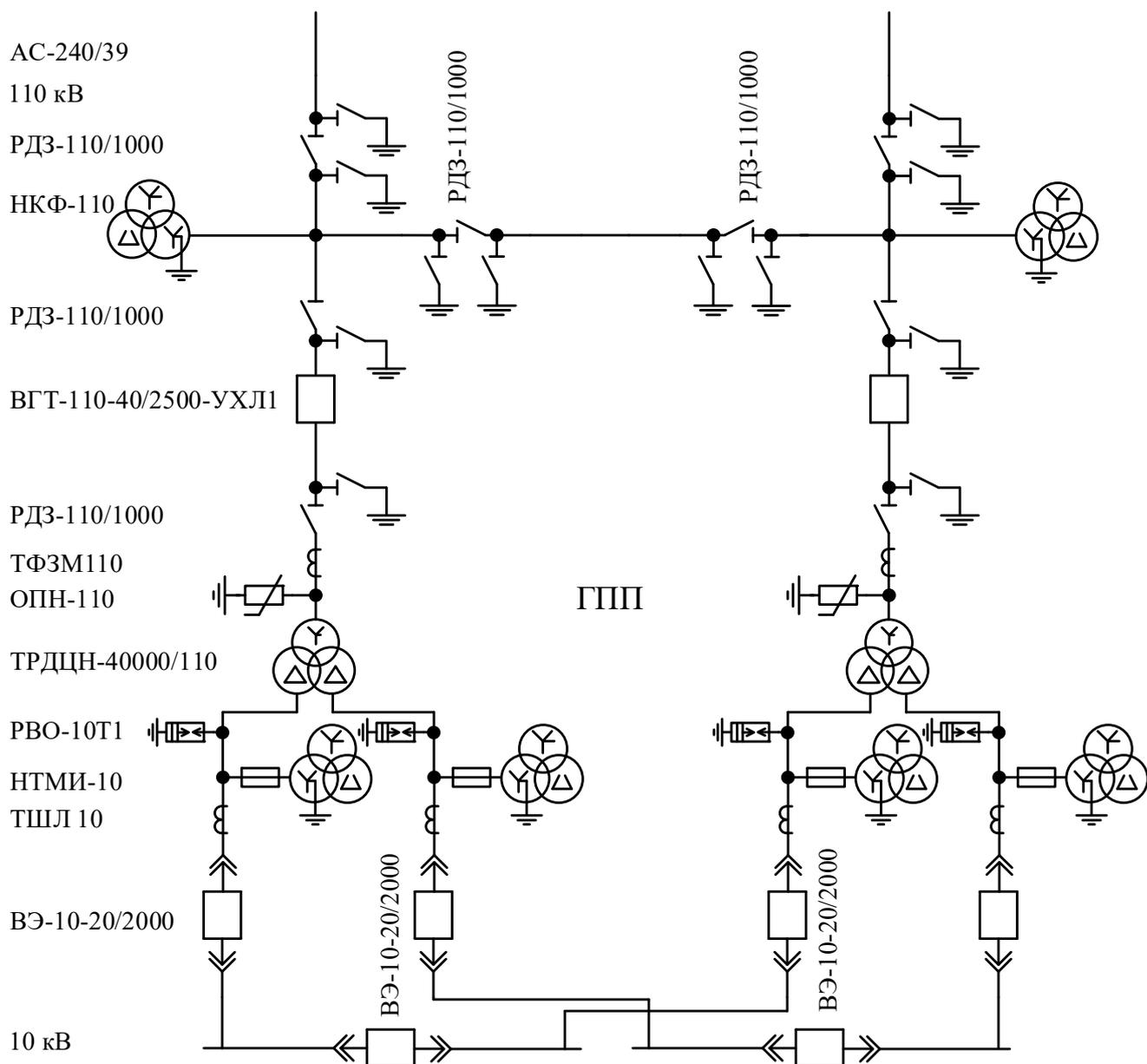


Рисунок 6.1 – Схема внешнего электроснабжения

Экономическое сечение

$$S_э = \frac{I_{расч}}{j_э} = \frac{209,9}{1} = 209,9 \text{ мм}^2,$$

где $j_э$ – 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-240/39 с $I_{доп} = 610 \text{ А}$ [15, стр. 82, табл. 3.15.].

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

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

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

$$L_{\text{доп}} = L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{расч}}} = 7,90 \cdot 5 \cdot \frac{610}{209,9} = 114,8 \text{ км} > L_{\text{факт}} = 27 \text{ км},$$

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

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

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

Проверка выполняется.

– Проверка на корону: минимально допустимое сечение проводов воздушной линии 110 кВ по условию короны составляет 70 мм² [15], что меньше, чем принятое сечение. Поэтому проверка выполняется.

7 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.

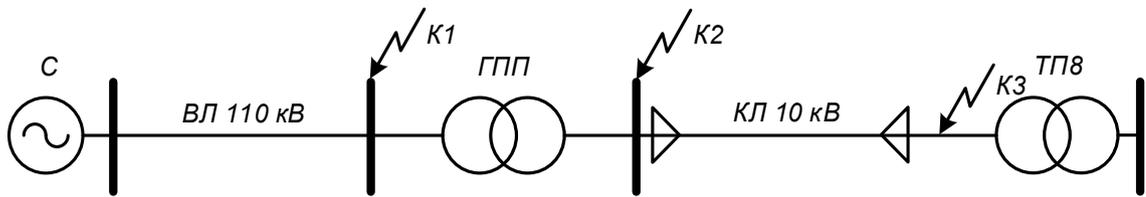
Для расчетов токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения, рисунок 7.1 и на её основе схему замещения, рисунок 7.2. Расчетная схема представляет собой упрощенную однолинейную схему, на которой указывают все элементы системы электроснабжения и их параметры, влияющие на ток КЗ. Здесь же указывают точки, в которых необходимо определить ток КЗ.

Принимаем базисные величины

$$S_б = 100 \text{ МВА}, \quad U_{\text{ср.ном1}} = 115 \text{ кВ}, \quad U_{\text{ср.ном2}} = 10,5 \text{ кВ},$$

$$I_{б1} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном1}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА},$$

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



$S_c = \infty$	2x AC-240/39	ТРДН-40000/110	АПВВНГ- 2(3 x 70/25)
$x_c = 0$	$U_{ном} = 110$ кВ	$S_{ном} = 40,0$ МВА	$U_{ном} = 10$ кВ
	$l = 27,0$ км	$U_k = 10,5$ %	$l = 0,367$ км
	$r_0 = 0,118$ Ом/км		$r_0 = 0,443$ Ом/км
	$x_0 = 0,405$ Ом/км		$x_0 = 0,177$ Ом/км
	$n_{ц} = 2$ шт		$n_{ц} = 2$ шт

Рисунок 7.1 – Расчетная схема рассматриваемого участка

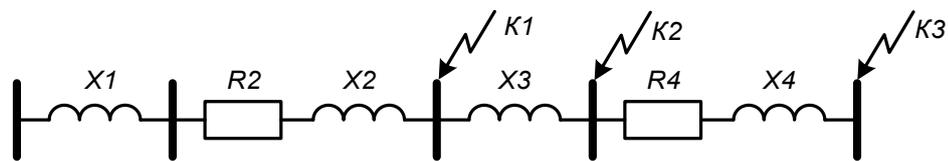


Рисунок 7.2 – Схема замещения рассматриваемого участка

Параметры схемы замещения

Система

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

Воздушная линия

$$R_2 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{n_{ц} \cdot U_{ср.ном1}^2} = 0,118 \cdot 27,0 \cdot \frac{100}{1 \cdot 115^2} = 0,024,$$

$$X_2 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{n_{ц} \cdot U_{ср.ном1}^2} = 0,405 \cdot 27,0 \cdot \frac{100}{1 \cdot 115^2} = 0,083.$$

Трансформаторы

$$X_3 = \frac{U_{к,\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{ном.т}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{40,0} = 0,263.$$

Кабельная линия, питающий подстанцию

$$R_4 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{n_{ц} \cdot U_{ср.ном2}^2} = 0,443 \cdot 0,367 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,148,$$

$$X_4 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{n_{ц} \cdot U_{ср.ном2}^2} = 0,177 \cdot 0,367 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,059.$$

а) Точка К1

Результирующее сопротивление в точке К1

$$R_{\text{рез1}} = R_2 = 0,024, \quad X_{\text{рез1}} = X_1 + X_2 = 0 + 0,083 = 0,083.$$

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{R_{\text{рез1}}^2 + X_{\text{рез1}}^2} = \sqrt{0,024^2 + 0,083^2} = 0,086.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К1

$$I_{\text{к1}} = \frac{I_{\text{б1}}}{Z_{\text{рез1}}} = \frac{0,502}{0,086} = 5,8 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ

$$T_{\text{a1}} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{0,083}{314 \cdot 0,024} = 0,0109 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{\text{a1}}} = 1 + e^{-0,01/0,0109} = 1,401.$$

Ударный ток КЗ в точке К1

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд1}} \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,401 \cdot 5,8 = 11,5 \text{ кА.}$$

б) Точка К2

Результирующее сопротивление в точке К2

$$R_{\text{рез2}} = R_{\text{рез1}} = 0,024, \quad X_{\text{рез2}} = X_{\text{рез1}} + X_3 = 0,083 + 0,263 = 0,345.$$

$$Z_{\text{рез2}} = \sqrt{R_{\text{рез2}}^2 + X_{\text{рез2}}^2} = \sqrt{0,024^2 + 0,345^2} = 0,346.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К2

$$I_{\text{к2}} = \frac{I_{\text{б2}}}{Z_{\text{рез2}}} = \frac{5,499}{0,346} = 15,9 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ

$$T_{\text{a2}} = \frac{X_{\text{рез2}}}{\omega \cdot R_{\text{рез2}}} = \frac{0,345}{314 \cdot 0,024} = 0,0456 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд2}} = 1 + e^{-0,01/T_{\text{a2}}} = 1 + e^{-0,01/0,0456} = 1,803.$$

Ударный ток КЗ в точке К2

$$i_{\text{уд2}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд2}} \cdot I_{\text{к2}} = \sqrt{2} \cdot 1,803 \cdot 15,9 = 40,5 \text{ кА.}$$

в) Точка КЗ

Сопротивление от источника до точки КЗ

$$R_{\text{рез3}} = R_{\text{рез2}} + R_4 = 0,024 + 0,148 = 0,172,$$

$$X_{\text{рез3}} = X_{\text{рез2}} + X_4 = 0,345 + 0,059 = 0,404,$$

$$Z_{\text{рез3}} = \sqrt{R_{\text{рез3}}^2 + X_{\text{рез3}}^2} = \sqrt{0,172^2 + 0,404^2} = 0,439.$$

Действующее значение тока КЗ в точке КЗ

$$I_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{б2}}}{Z_{\text{рез3}}} = \frac{5,499}{0,439} = 12,5 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ

$$T_{\text{аз}} = \frac{X_{\text{рез3}}}{\omega \cdot R_{\text{рез3}}} = \frac{0,404}{314 \cdot 0,172} = 0,0075 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд3}} = 1 + e^{-0,01/T_{\text{аз}}} = 1 + e^{-0,01/0,0075} = 1,264.$$

Ударный ток КЗ в точке КЗ

$$i_{\text{уд3}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд3}} \cdot I_{\text{кз}} = \sqrt{2} \cdot 1,264 \cdot 12,5 = 22,4 \text{ кА.}$$

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

Проверка кабелей АПВнг, питающих подстанции

Тепловой импульс тока короткого замыкания

$$W_{\text{к}} = I_{\text{кз}}^2 \cdot (\tau + T_{\text{аз}}) = 15890,7^2 \cdot (0,07 + 0,0456) = 29198906,4 \text{ А}^2 \cdot \text{сек},$$

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

Термически стойкое сечение равно

$$S_{\text{min}} = \frac{\sqrt{W_{\text{к}}}}{C_{\text{т}}} = \frac{\sqrt{29198906,4}}{90} = 60,0 \text{ мм}^2 < S_{\text{факт}} = 70 \text{ мм}^2,$$

где $C_{\text{т}}$ – 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.

Проверка медного экрана кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена

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

$$K = \frac{1}{\sqrt{t}} = \frac{1}{\sqrt{(\tau + T_{a2})}} = \frac{1}{\sqrt{(0,07 + 0,0456)}} = 2,94 \text{ с,}$$

где t – продолжительность короткого замыкания, с.

Допустимый ток медного экрана

$$I_{к.э} = k \cdot S_{м.э} \cdot K = 0,191 \cdot 25 \cdot 2,94 = 14,0 \text{ кА,}$$

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

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

Двухфазное короткое замыкание

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к}^{(3)} = 0,87 \cdot I_{к}^{(3)} = 0,87 \cdot 15,9 = 13,8 \text{ кА} < I_{к.э} = 14,0 \text{ кА.}$$

Условие выполняется.

Расчет токов КЗ по остальным участкам сведен в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – 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	115,0	0,502	0,024	0,083	0,086	5,8	0,0109	1,401	11,5	–	–
К2	10,5	5,499	0,024	0,345	0,346	15,9	0,0456	1,803	40,5	29198906,4	60,0
К3	10,5	5,499	0,172	0,404	0,439	12,5	0,0075	1,264	22,4	–	–

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

8 Выбор силового оборудования

8.1 Выбор выключателей и разъединителей

Намечаем к установке на стороне ВН трансформатора ГПП вакуумный выключатель ВГТ-110-40/2500-УХЛ1.

Намечаем к установке на стороне НН трансформатора ГПП электромагнитный выключатель ВЭ-10-20/2000-У3.

Параметры выключателя приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Параметры выключателя [23, 24]

№	Параметр	Значение	
		ВГТ	ВЭ
1	Тип	ВГТ	ВЭ
2	Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$, кВ	110	10
3	Номинальный ток $I_{\text{ном}}$, А	2000	2000
4	Номинальный ток отключения $I_{\text{отк.ном}}$, кА	40	20
5	Ток электродинамической стойкости $I_{\text{дин}}$, кА	40	20
6	Пик тока электродинамической стойкости $i_{\text{дин}}$, кА	102	51
7	Ток термической стойкости $I_{\text{тер}}$, кА	40,0	20
8	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{\text{тер}}$, с	3	4
9	Полное время отключения выключателя $t_{\text{отк.в}}$, с	0,06	0,05
10	Климатическое исполнение	ХЛ1	У3

Пример выбора выключателя на стороне ВН трансформатора ГПП

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

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

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

$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{30488,9}{\sqrt{3} \cdot 110,0} = 160,0 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А};$$

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

$$I_{\text{n,t}} = 5,8 \text{ кА} < I_{\text{n,t}} = 40,0 \text{ кА};$$

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

$$I_{\text{n,0}} = 5,8 \text{ кА} < I_{\text{дин}} = 40,0 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = 11,5 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА};$$

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

$$B_k = I_{п,0}^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{отк.в} + T_a) = 5,8^2 \cdot (1,2 + 0,06 + 0,011) = 43,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 40,0^2 \cdot 3 = 4800,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$B_k = 43,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 4800,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель проходит по результатам проверок.

Намечаем к установке на высокой стороне трансформатора ГПП разъединитель РДЗ-110/1000-УХЛ1.

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

Параметры разъединителя приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Параметры разъединителя [18, стр. 630, табл. П4.4]

№	Параметр	Значение
1	Тип	РДЗ
2	Номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ	110
3	Номинальный ток $I_{ном}$, А	1000
4	Амплитуда предельного сквозного тока $i_{пр.с}$, кА	80
5	Ток термической стойкости $I_{тер}$, кА	31,5
6	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{тер}$, с	3
7	Климатическое исполнение	УХЛ1

Пример выбора разъединителя на стороне ВН трансформатора ГПП

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

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

– по току $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = 160,0 \text{ А} < I_{ном} = 1000 \text{ А};$$

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

$$i_{уд} = 11,5 \text{ кА} < i_{пр.с} = 80 \text{ кА};$$

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

$$B_k = 43,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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 8.3.

Таблица 8.3 – Выбор выключателей и разъединителей

Расчетные данные	Выключатель ВГТ-110-40/2500-УХЛ1	Разъединитель РДЗ-110/1000-УХЛ1
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
$I_{max} = 160,0 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{n,t} = 5,8 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА}$	–
$I_{n,0} = 5,8 \text{ кА}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	–
$i_{уд} = 11,5 \text{ кА}$	$i_{дин} = 102 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 80 \text{ кА}$
$В_k = 43,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 2977 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Расчетные данные	Выключатель ВЭ-10-20/2000-У3	Разъединитель
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	Используется выкатная тележка
$I_{max} = 1760,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$	
$I_{n,t} = 15,9 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$	
$I_{n,0} = 15,9 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$	
$i_{уд} = 40,5 \text{ кА}$	$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	
$В_k = 150,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	

8.2 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 8.4 [18, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 8.4 – 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 ТФЗМ110Б У1 и ТШЛ-10 У3.

Параметры трансформатор тока приведены в таблице 8.5.

Таблица 8.5 – Параметры трансформаторов тока [25, стр. 294, табл. 5.9]

№	Параметр	Значение	
		ТФЗМ	ТШЛ
1	Тип	ТФЗМ	ТШЛ
2	Номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ	110	10
3	Номинальный ток $I_{ном}$, А	200	2000
4	Вторичный номинальный ток трансформатора тока I_2 , А	5	5
5	Ток электродинамической стойкости $i_{дин}$, кА	82	—
6	Ток термической стойкости $I_{тер}$, кА	8,0	—
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 8.4 видно, что наиболее загружены фазы А и С. Для них ведем расчет.

Проверка трансформаторов тока

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

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

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

$$I_{\max} = \frac{S_{\text{р.ГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{30488,9}{\sqrt{3} \cdot 110,0} = 160,0 \text{ А} < I_{\text{НОМ}} = 200 \text{ А};$$

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

Общее сопротивление приборов, подключенных к трансформатору тока

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

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами (таблица 8.4).

Допустимое сопротивление проводников

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

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

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

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

где 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

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

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

$$i_{\text{уд}} = 11,5 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 82 \text{ кА};$$

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

$$B_{\text{к}} = 43,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 8^2 \cdot 3 = 192,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Трансформатор тока проходит по результатам проверок.

Трансформатор тока на низкой стороне трансформатора ГПП выбирается аналогично. Поэтому дальнейшие расчеты сведем в таблицу 8.6.

Таблица 8.6 – Выбор трансформаторов тока в цепях трансформатора ГПП

Тип ТТ	Расчетные данные	Каталожные данные
ТТ1, ТТ2 Сторона ВН трансформатора	$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 160,0 \text{ А}$	$I_{ном} = 200 \text{ А}$
	$B_k = 43,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 192,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 11,5 \text{ кА}$	$I_{дин} = 82 \text{ кА}$
	$r_2 = 0,147 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом}$
ТТ3, ТТ4 Сторона НН трансформатора	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 1760,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$
	$B_k = 150,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 14700 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 40,5 \text{ кА}$	не проверяется
	$r_2 = 0,397 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 0,800 \text{ Ом}$

8.3 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 8.7 [18, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 8.7 – 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.	
								$P, \text{ Вт}$	$Q, \text{ ВАр}$
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	—	—	—	4	0,08	0,0
	Счетчик V	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	4	0,08	0,0
Итого:								10,2	0,0

Намечаем к установке на стороне ВН трансформатора ГПП трансформатор напряжения НКФ-110-57 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	
		НКФ	НТМИ
1	Тип	НКФ	НТМИ
2	Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$, кВ	110	10
3	Номинальная мощность $S_{\text{ном}}$, В·А	400	120
4	Класс точности	0,5	0,5
5	Климатическое исполнение	У1	У3

а) Проверка трансформаторов напряжения на стороне ВН трансформатора.

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

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

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

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 3.7

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{19,0^2 + 0^2} = 19,0 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{\text{ном}} = 400 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

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].

8.4 Выбор ограничителя перенапряжения

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

Принимаем к установке ограничитель напряжения марки ОПН-110.

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

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

Проверка выполняется.

8.5 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

$$P_{\text{выкл}\Sigma} = n_{\text{выкл}} \cdot P_{\text{выкл}} = 2 \cdot 1,8 = 3,6 \text{ кВт.}$$

– подогрев шкафов

$$P_{\text{шк}\Sigma} = n_{\text{шк}} \cdot P_{\text{шк}} = 16 \cdot 1,0 = 16,0 \text{ кВт.}$$

– отопление, освещение, вентиляция ЗРУ

$$P_{\text{о.ЗРУ}} = 30,0 \text{ кВт.}$$

– освещение ОРУ

$$P_{\text{о.ОРУ}} = 10,0 \text{ кВт.}$$

Установленная мощность нагрузки собственных нужд

$$P_{уст} = P_{\text{выкл}\Sigma} + P_{\text{шк}\Sigma} + P_{\text{о.ЗРУ}} + P_{\text{о.ОРУ}} = 3,6 + 16,0 + 30,0 + 10,0 = 59,6 \text{ кВт.}$$

Мощность трансформатора собственных нужд

$$S_{тр} \geq P_{расч} = k_c \cdot P_{уст} = 0,8 \cdot 59,6 = 47,7 \text{ кВт,}$$

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

Принимаем к установке два трансформатора типа ТСН-63.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А5Д1	Казаченко Дмитрий Владимирович

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 – 344 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	апрель 2020
---	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т.Г.	Доцент, к.э.н.		20.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А5Д1	Казаченко Дмитрий Владимирович		20.04.2020

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной выпускной квалификационной работе проектируется машиностроительный завод. 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.

9.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта

Данное предприятие может представлять интерес для организаций, работающих в авиастроении, автомобилестроении, теплоэнергетике, а также для иных промышленных предприятий. 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 9.1.

Таблица 9.1 – Карта сегментирования рынка

		Вид продукции				
		Элементы оборудования для самолетов	Элементы оборудования для автомобилей	Трубопроводная арматура	Продукция общепромышленного назначения	
Размер потребителя	Крупные					
	Средние					
	Мелкие и физ. лица					

	– авиастроение;
	– автомобилестроение;
	– теплоэнергетика;
	– иные промышленные предприятия.

По карте сегментирования видно, что у всей выпускаемой продукции есть свой целевой потребитель, не зависимо от размера предприятия, но предприятие в целом ориентировано на средний и крупный бизнес. На предприятии выпускается много узкоспециализированной продукции, интересной только отдельным отраслям, таким как авиастроение, автомобилестроение и теплоэнергетика. Но продукция общего назначения имеет более широкий круг потребителей.

9.2 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

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

где K – конкурентоспособность конкурента;

B_i – вес показателя, в долях единицы;

B_j – балл i -го показателя.

В таблица 9.2 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений. Сравнение производилось с конкурирующими заводами ФГУП ПО "Завод Трансмаш" и ФГУП ПО "Полет", так как эти заводы наиболее близки по производимой продукции.

Таблица 9.2 – 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	0,10	3	3	3	0,30	0,30	0,30
2. Надежность	0,10	4	2	3	0,40	0,20	0,30
3. Безопасность	0,10	5	3	4	0,50	0,30	0,40
4. Функциональная мощность	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
5. Энергоэффективность	0,10	4	2	2	0,40	0,20	0,20
6. Современная элементная база	0,05	4	4	4	0,20	0,20	0,20
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	3	0,25	0,20	0,15
2. Цена	0,10	4	5	5	0,40	0,50	0,50
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,60
4. Наличие сертификации продукции	0,10	5	5	5	0,50	0,50	0,50
Итого	1,00	44	34	36	4,45	3,30	3,60

По результатам расчета видно, что рассматриваемое предприятие конкурентоспособно, по сравнению с предприятиями аналогичного профиля. Наибольшие преимущества наблюдаются в сфере надежности, функциональной мощности, безопасности, энергоэффективности и в сроке эксплуатации. Но у предприятия высокий уровень цен на продукцию.

9.3 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 9.3. Анализ производился на основе сравнения с конкурирующими заводами ФГУП ПО "Завод Трансмаш" и ФГУП ПО "Полет".

Таблица 9.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Опыт оборонной промышленности С2. Широкая номенклатура изделий С3. Законченность технологических циклов С4. Высокое качество товара С5. НИОКР	Сл1. Несформированность контрольного пакета акций завода Сл2. Быстрый износ основных фондов Сл3. Старение кадров Сл4. Проблемы поставки сырья Сл5. Отсутствие рекламной и марочной политики
Возможности В1. Разработка новых технологий и видов продукции В2. Захват смежных сегментов и выход на новые рынки В3. Создание региональных филиалов В4. Привлечение инвесторов	Выход на новые рынки или сегменты рынка	Рекламирование продукции, качественная работа с потенциальными потребителями. Работа с университетами по подготовке молодых специалистов.
Угрозы У1. Система налогообложения У2. Отсутствие льготного кредитования. У3. Санкционная внешняя политика У4. Зависимость от поставок стратегического сырья	Применение не импортного сырья. Грамотная финансовая политика	Решение проблем с основными фондами. Применение не импортного сырья.

Для выявления соответствия сильных и слабых сторон внешним условиям строится интерактивная матрица проекта, таблица 9.4. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Таблица 9.4 – Интерактивная матрица проекта

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

- грамотная финансовая политика;
- сотрудничество с кредитными организациями и государственная поддержка;
- применение сырья российского происхождения, поиск новых источников сырья.

Для борьбы со слабыми сторонами необходимо:

- решение проблем с основными фондами, своевременное обновление оборудование;
- подготовка и переподготовка персонала, сотрудничество с университетами;
- активная реклама продукции и предприятия в целом;

– разработка долгосрочной стратегии, учитывающей развитие предприятия в целом и кадрового состава в частности.

9.4 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 9.5).

На основе таблицы 9.5 строится календарный план-график рисунок 9.1. 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 98 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 9.5 – 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	3	2295,7	6887,0
		Инженер	3	1428,6	4285,9
2	Расчет электрических нагрузок по цеху	Инженер	4	1428,6	5714,5
3	Расчет электрических нагрузок по предприятию	Инженер	6	1428,6	8571,8
4	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Инженер	3	1428,6	4285,9
5	Выбор трансформаторов цеховых подстанций и выбор средств компенсации	Инженер	4	1428,6	5714,5
6	Выбор трансформаторов ГПП	Инженер	4	1428,6	5714,5
7	Расчет внутривозводской сети предприятия	Руководитель	2	2295,7	4591,3
		Инженер	14	1428,6	20000,8
8	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	Инженер	3	1428,6	4285,9
9	Выбор электрооборудования в сети выше 1000 В	Инженер	3	1428,6	4285,9
10	Расчет схемы электроснабжения цеха	Руководитель	2	2295,7	4591,3
		Инженер	12	1428,6	17143,6
11	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В	Инженер	3	1428,6	4285,9
12	Проверка селективности действия аппаратов защиты	Инженер	2	1428,6	2857,3
13	Расчет релейной защиты и автоматики	Инженер	2	1428,6	2857,3
14	Расчет эпюры отклонений напряжения	Инженер	3	1428,6	4285,9
15	Составление расчетно-пояснительной записки	Руководитель	5	2295,7	11478,3
		Инженер	16	1428,6	22858,1
16	Чертежные работы	Руководитель	4	2295,7	9182,7
		Инженер	16	1428,6	22858,1
Итого по каждой должности		Руководитель	5	2295,7	11478,3
		Инженер	16	1428,6	22858,1
Итого З _{осн} сотрудников, руб					176736,5

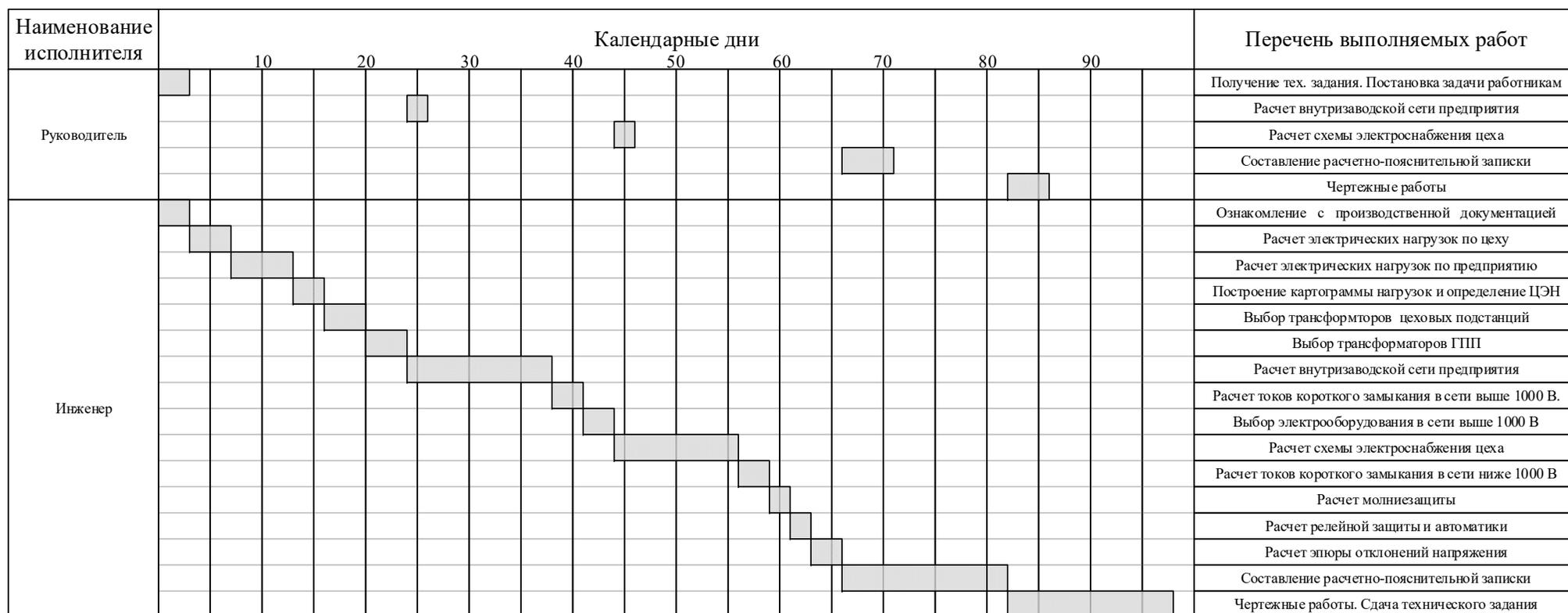


Рисунок 9.1 – Календарный план выполнения проекта

1) Расчет зарплаты

Месячный должностной оклад научного руководителя

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + \text{к}_{\text{пр}} + \text{к}_{\text{д}}) \cdot \text{к}_{\text{р}} = 23300 \cdot (1 + 0,3 + 0,50) \cdot 1,3 = 54522,0 \text{ руб},$$

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

$\text{к}_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент;

$\text{к}_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

$\text{к}_{\text{р}}$ – районный коэффициент.

Среднедневная заработная плата

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot \text{М}}{F_{\text{д}}} = \frac{54522,0 \cdot 10,4}{247} = 2295,7 \text{ руб},$$

где $F_{\text{д}}$ – среднее количество рабочих дней в году в РФ за последние 5 лет;

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

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

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 2295,7 \cdot 16 = 36730,6 \text{ руб},$$

где $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ по проекту, раб.дн.

Дополнительная заработная плата

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot \text{к}_{\text{доп}} = 36730,6 \cdot 0,15 = 5509,6 \text{ руб},$$

где $\text{к}_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Заработная плата научного руководителя

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = 36730,6 + 5509,6 = 42240,2 \text{ руб}.$$

Заработная плата инженера рассчитывается аналогично. Дальнейший расчет приведен в таблице 9.6

Таблица 9.6 – Расчет заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб	$\text{к}_{\text{пр}}$	$\text{к}_{\text{д}}$	$\text{к}_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб	$T_{\text{р}}$, раб.дн	$Z_{\text{осн}}$, руб	$\text{к}_{\text{доп}}$	$Z_{\text{доп}}$, руб	$Z_{\text{зп}}$, руб
Руководитель	23300	0,3	0,50	1,3	54522,0	2295,7	16	36730,6	0,15	5509,6	42240,2
Инженер	14500	0,3	0,50	1,3	33930,0	1428,6	98	140005,9	0,15	21000,9	161006,8
Итого	–	–	–	–	–	–	–	176736,5	–	26510,5	203247,0

2) Материальные затраты

Таблица 9.7 – Затраты на материалы

Материалы	Количество	Цена за единицу, руб	И _м , руб
Флэш-память	1	820,0	820,0
Упаковка бумаги А4 500 листов	1	170,0	170,0
Канцтовары	–	300,0	300,0
Картридж для принтера	1	2800,0	2800,0
Итого З _{мат} , руб	–	–	4090,0

3) Амортизация основных фондов

Основной объем работы был произведен на персональных компьютерах.

$$I_{ам} = \frac{T_{исп.КТ}}{T_{кал}} \cdot Ц_{КТ} \cdot \frac{1}{T_{сл}} = \frac{49}{365} \cdot 50000,0 \cdot \frac{1}{5} = 1342,5 \text{ руб,}$$

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

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

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

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

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 9.8.

Таблица 9.8 – Амортизация основных фондов

Оборудование	Стоимость, руб	Количество	T_z , дней	И _{ам} , руб
Компьютер	50000,0	1	49	1342,5
Принтер	6000,0	1	10	32,9
Итого З _{ам} , руб	–	–	–	1375,3

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

$$Z_{внеб} = K_{внеб} \cdot Z_{зп} = 0,3 \cdot 203247,0 = 60974,1 \text{ руб,}$$

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

$$\begin{aligned} Z_{контр} &= K_{контр} \cdot (Z_{зп} + Z_{м} + Z_{ам} + Z_{внеб}) = \\ &= 0,1 \cdot (203247,0 + 4090,0 + 1375,3 + 60974,1) = 26968,6 \text{ руб,} \end{aligned}$$

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

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

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

$$= 0,16 \cdot (203247,0 + 4090,0 + 1375,3 + 60974,1 + 26968,6) = 47464,8 \text{ руб,}$$

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

7) Затраты на разработку проекта

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

$$= 203,25 + 4,09 + 1,38 + 60,97 + 26,97 + 47,46 = 344,12 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет бюджета затрат разработку проекта сведем в таблицу 9.9.

Таблица 9.9 – Бюджет затрат на выполнение проекта

№ статьи	Наименование статей расхода	Сумма, тыс.руб
1	Фонд заработной платы $Z_{\text{зп}}$	203,25
2	Материалы $Z_{\text{мат}}$	4,09
3	Амортизация основных фондов $Z_{\text{ам}}$	1,38
4	Внебюджетные отчисления $Z_{\text{внеб}}$	60,97
5	Контрагентные расходы $Z_{\text{контр}}$	26,97
6	Накладные расходы $Z_{\text{накл}}$	47,46
Цена проекта $Z_{\text{пр}}$		344,12

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.

9.5 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 машиностроительного завода востребована в различных сегментах рынка. Но предприятие в целом ориентировано на средний и крупный бизнес. На предприятии выпускается много узкоспециализированной продукции, интересной только отдельным отраслям, таким как авиастроение, автомобилестроение и теплоэнергетика. Но продукция общего назначения имеет более широкий круг потребителей.

2) Проведён анализ конкурентных технических решений.

Анализ конкурентных технических решений в сравнении с аналогичными предприятиями ФГУП ПО "Завод Трансмаш" и ФГУП ПО "Полет", показал, что рассматриваемое предприятие конкурентоспособно, по сравнению с предприятиями аналогичного профиля.

Наибольшие преимущества наблюдаются в сфере надежности, функциональной мощности, безопасности, энергоэффективности и в сроке эксплуатации. Но у предприятия высокий уровень цен на продукцию.

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 вести грамотную финансовую политику и сотрудничать с кредитными организациями. Сделать упор на рекламу своей продукции, заниматься подготовкой и переподготовкой персонала, в том числе налаживать сотрудничество с университетами. Делать упор на российское сырье и поиск новых источников сырья. При этом явными преимуществами является поддержка государства, широкая номенклатура изделий и законченность технологических циклов.

4) Планирование выполнения работ по проекту.

Было произведено распределение обязанностей по выполнению проекта и рассчитано время, необходимое для выполнения работы. Общая продолжительность работ составила 98 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 344,12 тыс.руб.

Расчет показал, что трудовые затраты составляют основную часть от стоимости разработки и составляют 203,25 тыс.руб. Минимальные затраты составляют материалы и амортизационные отчисления, в сумме около 5,5 тыс.руб.

Расходы по заработной плате определены по трудоемкости выполняемой работы и действующей системы окладов и тарифных ставок и составили: заработная плата руководителя – 42240,20 руб., заработная плата инженера – 161006,78 руб. В основную заработную плату внесена премия, которая выплачивается каждый месяц в размере 30 % от оклада.

Накладные и контрагентные расходы составили в сумме 74433,45 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	Казаченко Дмитрий Владимирович

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

Тема ВКР:

Электроснабжение Павловского машиностроительного завода

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочая зона – ремонтно-механический цех машиностроительного завода. Объектом исследования является оборудование цеха
--	---

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, катастрофа, пожар, стихийное бедствие, эпидемия, эпизоотия, эпифитотия, оружие массового поражения. Одной из наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией в процессе эксплуатации электроэнергетического оборудования является возникновение пожара.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	апрель 2020
--	-------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			20.04.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А5Д1	Казаченко Дмитрий Владимирович		20.04.2020

10 Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности на производстве – это совокупность правил и норм, созданных для обеспечения защиты жизни и сохранения здоровья человека. Совокупность факторов, воздействующих на человека в процессе труда, формирует условия труда, которые делятся на благоприятные и неблагоприятные.

Машиностроительный завод – крупнейшее предприятие с большим количеством цехов и персонала, несмотря на высокую степень автоматизации технологических процессов. Рабочим предприятия необходимо обеспечивать комфортные и безопасные условия труда.

Ремонтно-механический цех – один из основных цехов предприятия, так как на нем создаются комплектующие для машиностроительной отрасли, дорабатываются детали. Цех заполнен металлорежущими станками и различным подвижным и неподвижным оборудованием, которое создает шум, вибрацию и может привести к механической травме.

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовую основу обеспечения безопасности деятельности составляют соответствующие законы и постановления, принятые представительными органами Российской Федерации, а также подзаконные акты: указы президентов, постановления, принимаемые правительством Российской Федерации и входящих в него государственных образований, местными органами власти и специально уполномоченными на то органами.

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».

Заработная плата станочника ремонтно-механического цеха состоит из оклада, надбавки и районного коэффициента.

Персонал, участвующий в производственных процессах деревообработки, должен знать технологическую инструкцию и инструкцию по охране труда.

Задание выдают за день до работы и в соответствии с ее характером готовят необходимые материалы, инструменты и станки.

Сверлильные и фрезерные станки устанавливают с учетом многостаночного обслуживания: минимальная норма обслуживания – два станка. На рабочем месте также размещают приемные столики с инструментальными ящиками, стеллажи с выдвижными платформами для приспособлений, стеллажи-подставки и решетки под ноги.

Должна быть организована своевременная, без участия оператора, доставка к станку на рабочее место следующих компонентов производственного процесса: настроенных на размер инструментов, заготовок, крепежных приспособлений, технической документации, масла для смазки и гидросистем, охлаждающей жидкости.

С рабочего места необходимо систематически удалять стружку, а по завершении обработки партии – готовые детали, отработавшие режущие и вспомогательные инструменты, приспособления, техническую документацию.

За состоянием оборудования так же следит персонал цеха – необходимо своевременно смазывать и обслуживать станки, следить за состоянием и работоспособностью ручного инструмента.

10.2 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 10.1.

Таблица 10.1 – 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

Микроклимат определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения. Если сочетание этих параметров не является оптимальным для организма человека, может быть нарушено функциональное и тепловое состояние человека, причем это будет сопровождаться напряжением реакции терморегуляции, ухудшением самочувствия.

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».

Допустимые величины показателей микроклимата, таблица 10.2, устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины, таблица 10.3.

Таблица 10.2 – 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	Па	17,0 – 18,9	21,1 – 23,0	16,0 – 24,0	15 – 75	0,1	0,3
Теплый	Па	18,0 – 19,9	22,1 – 27,0	17,0 – 28,0	15 – 75	0,1	0,4

Таблица 10.3 – 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	Па	19,0 – 21,0	18,0 – 22,0	60 – 40	0,2
Теплый	Па	20,0 – 22,0	19,0 – 23,0	60 – 40	0,2

Параметры микроклимата в ремонтно-механическом цехе поддерживаются системой вентиляции и отоплением. Нормы производственной вентиляции установлены согласно СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

В целях профилактики обезвоживания организма персоналу рекомендуется соблюдать питьевой режим.

Повышенный уровень шума

В ремонтно-механическом цехе доминирующим оборудованием являются металлорежущие станки, которые могут создавать уровень звука до 110 дБ. Большинство металлорежущих станков при надлежащем качестве изготовления имеют шумовые характеристики, удовлетворяющие санитарным нормам без применения дополнительных мер по снижению шума.

Основные источники шума металлорежущих станков:

- подшипники;
- ременные передачи;

- электродвигатели;
- направляющие трубы токарных автоматов;
- процесс резания;
- зубчатые передачи;
- гидравлические агрегаты;
- кулачковые механизмы;
- дисковые муфты.

Повышенный уровень шума оказывает вредное воздействие на организм человека: снижается острота слуха, зрения, нарушается деятельность сердечно-сосудистой системы. Сильный производственный шум может быть причиной функциональных изменений нервной, кровеносной систем организма.

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 10.4.

Таблица 10.4 – 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

Для борьбы с шумом используют демпфирование излучателей шума, а также виброизоляторы. Для присоединения трубопроводов гидроагрегатов применяются виброизолирующие зажимы.

Необходимо использовать качественный и подготовленный инструмент.

При необходимости нужно использовать средства индивидуальной защиты – наушники или беруши.

Повышенный уровень вибрации

Вибрацию в ремонтно-механическом цехе вызывает станочное оборудование, жидкости в трубопроводах, вентиляция, работа компрессорных агрегатов, ударный инструмент.

Длительное воздействие вибрации приводит к различным нарушениям здоровья человека и, в конечном счете, к «вибрационной болезни». Общая вибрация оказывает неблагоприятное воздействие на нервную систему, наступает изменение в сердечно-сосудистой системе, вестибулярном аппарате, нарушается обмен веществ.

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 10.5.

Таблица 10.5 – 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

Мероприятия по защите от вибрации подразделяются на механические, организационные, лечебно-профилактические:

- устранение вибрации в источнике и на пути их распространения (замена технологических процессов, применение деталей из пластмассы, нанесение слоя упруговязких материалов, балансировка вращающихся деталей);
- рациональное чередование труда и отдыха;
- ультрафиолетовое облучение, воздушный обогрев, массаж, приём витаминных препаратов.

Также применяются средства индивидуальной защиты: рукавицы, перчатки, специальная обувь.

Недостаточный уровень освещения

Безопасность труда работников, а также их производительность напрямую зависит от того, насколько качественно организовано освещение в механическом цехе. Недостаточное освещение повышает риск травматизма на производстве, способствует ухудшению самочувствия и здоровья сотрудников предприятия.

Необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности, а также в окружающем пространстве. Если в поле зрения находятся поверхности, значительно отличающиеся между собой по яркости, то при переводе взгляда с ярко освещенной на слабо освещенную поверхность глаз вынужден переадаптироваться, что ведет к утомлению зрения.

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 10.6.

Таблица 10.6 – Нормы освещённости помещений цеха

Наименование помещения	$E_{экс}$, лк	U_0 , не менее	UGR, не более	R_a , не менее	K_p , %, не более
Производство с продолжительными ручными операциями	200	0,60	25	80	20

где $E_{экс}$ – эксплуатационная освещенность;

U_0 – равномерность освещенности;

UGR – объединенный показатель дискомфорта;

R_a – общий индекс цветопередачи;

K_p – коэффициент пульсации освещенности.

Места, которые по технологическим причинам не обеспечиваются дневным светом, предусмотрено обеспечивать электрическим светом. В качестве источников искусственного освещения применяются светодиодные лампы. А при работе на станочном оборудовании используется местное освещение.

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

В ремонтно-механическом цехе большое количество станочного электрооборудования и ручного электроинструмента. Есть большая вероятность получить поражение электрическим током.

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде: термического действия, вплоть до обугливания; электролитическое – разложение крови в организме человека; биологическое воздействие – судорожное сокращение мышц при прохождении тока через жизненно-важные органы, нервные части.

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.

Для предотвращения поражения током на все электросиловое оборудование в котельной предусмотрено заземление». Защитному заземлению подлежат металлические токоведущие части электрооборудования.

Защитное зануление предусмотрено на нулевом проводе питающей сети электрооборудования и других металлических конструктивных частей корпусов, которые нормально не находятся под напряжением, но вследствие повреждения изоляции могут оказаться под напряжением. В качестве защиты при занулении используются плавкие предохранители.

Защитой от поражения электрическим током персонала цеха служит применение устройств дифференциальной защиты, а также контроль изоляции, применение пятипроводных проводников (заземление и зануление).

Необходимо содержать ручной электроинструмент в порядке. Надломленные провода и вилки необходимо заменить. Эксплуатировать такой инструмент запрещено. Нельзя наступать на временную проводку и залезать в распределительные щиты.

Движущиеся машины и механизмы

Наиболее распространенными источниками механических травм в механическом цехе являются риски, заусенцы, острые кромки, стружка, выступы на движущихся частях механизмов и инструментов. Также для перемещения грузов используются автокары, кран-балки, рельсовые тележки.

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».

Переломы, ушибы, порезы и другие травмы чаще всего возникают в случае несоблюдения персоналом техники безопасности, при использовании инструмента ненадлежащего качества, невнимательности.

Для защиты от стружки при обработке на каждой операции техпроцесса применены индивидуальные средства защиты: защитные очки, крючок-рапира и щетка-сметка.

Одним из условий безопасного труда является недоступность подвижных частей оборудования для рабочего в ходе технологического процесса, что обеспечивается ограждением, кожухами, предупреждающими знаками и соответствующей раскраской.

Безопасность обеспечивается также благодаря правильной организации работ, и постоянному надзору за работающими.

10.3 Экологическая безопасность

На предприятии при работе механического цеха происходит выброс в окружающую среду вредных веществ, таких как пары масел, бензина и керосина, вредные вещества, пыль и т.д.

При выполнении металлообрабатывающих операций у всех станков и агрегатов имеется вытяжная и приточная вентиляция, с очисткой воздуха в циклонах. У каждого станка имеется автономная вентиляция.

Для сбора смазочно-охлаждающих жидкостей на станках предусмотрены поддоны, из которых жидкость насосом подается в систему смазки станка, либо сливается в общий резервуар, оттуда поступает на переработку или утилизацию.

Сточные воды из производственного помещения, направляются в канализационные устройства, а далее в очистные сооружения.

Стружка цветных металлов и стали собирается отдельно в месте для сбора и хранения стружки, а затем вывозится для дальнейшей переработки.

10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям относятся аварии, катастрофы, пожар, стихийное бедствие, эпидемия, эпизоотия, эпифитотия, оружие массового поражения.

Одними из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС являются взрыв или пожар при несоблюдении предписанных норм пожарной безопасности или же вследствие короткого замыкания или проблем с токопроводящим оборудованием. Основы противопожарной защиты определяются Федеральным законом от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

Обеспечение безопасности осуществляется системой предотвращения пожаров, системой противопожарной защиты и организационно-техническими мероприятиями, в которые входят: организация пожарной охраны, паспортизация горючих веществ, материалов, технологических процессов и зданий по пожарной безопасности, разработка и реализация правил и инструкций по пожарной безопасности, соблюдение противопожарного режима и т.д.

Возможными причинами пожара могут быть:

- неосторожное обращение с огнем, в т.ч. при курении;
- нарушение ППБ при эксплуатации технологического оборудования и электрических проводов;
- нарушение ППБ при проведении пожароопасных работ.

10.5 Выводы по разделу

Ремонтно-механический цех является местом повышенной опасности. Множество станочного оборудования, подвижных элементов и систем, применение горюче-смазочных материалов, растворителей и других агрессивных жидкостей, вероятность поражения электрическим током и возникновение пожара – все это приводит к необходимости задуматься об обеспечении персонала цеха комфортными и безопасными условиями труда при помощи нормативной базы и технических средств.

В ходе данной работы были выявлены опасные и вредные факторы, действующие на работников цеха, а также разработаны методы их устранения или минимизации.

Кроме того, рассмотрены наиболее вероятные чрезвычайные ситуации и меры защиты от них.

Рассмотрены вопросы экологической безопасности. Произведена оценка возможного влияния цеха на окружающую среду и разработаны мероприятия по защите окружающей среды.

Жесткое соблюдение всех норм и правил способно максимально обезопасить сотрудников предприятия. Поэтому необходимо строго контролировать их соблюдение и выполнение на производстве.

Заключение

Целью работы было осуществление электроснабжения электроприёмников ремонтно-механического цеха Павловского машиностроительного завода 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 определение расчетной электрической нагрузки цеха методом упорядоченных диаграмм. На данном этапе электроприемники были распределены по пунктам питания, были рассчитаны номинальные параметры приемников, а также была определена расчетная нагрузка цеха.

Приёмники цеха запитываются от распределительных пунктов пятижильными кабелями с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией марки АВВГнг-LS, с прокладкой по лоткам и в коробах. Защита электроприемников и кабельных линий осуществляется автоматическими выключателями 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.

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.

Распределительная сеть 10 кВ по территории предприятия выполнена кабельными линиями с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвВнг, проложенными в коробах. Питание осуществлено по радиальным линиям.

При разработке схемы внешнего электроснабжения учитывалась категоричность электроприемников объекта, а также простота и надежность схемы. На ГПП установлены два двухобмоточных трансформатора марки ТРДН-40000/110. На стороне 110 кВ принята схема в виде мостика с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий. На стороне 10 кВ принята одинарная секционированная система шин. Электроснабжение предприятия осуществляется от подстанции энергосистемы по двум воздушным ЛЭП 110 кВ.

Также было выбрано оборудование открытого распределительного устройства, проведены проверки по номинальным параметрам, а также на стойкость токам короткого замыкания.

В экономической части был произведен расчет сметы расходов на покупку, монтаж и техническое обслуживание электрооборудования, а также смета на разработку проекта.

Произведен анализ опасных и вредных факторов на предприятии, техника безопасности, производственная санитария и пожарная безопасность. Так же был произведен расчет искусственного освещения цеха.

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. Павлово [Электронный ресурс]. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Павлово>
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 г.
7. Нижегородская область [Электронный ресурс]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Нижегородская_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 УKM 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 НИЦ 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/apvpng-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 до 1000 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».