

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка системы электроснабжения завода среднего машиностроения с детальной разработкой механического цеха

УДК 658.26

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5А7Д	Зувев Леонид Петрович		08.06.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Плотников И.А.	к.т.н., доцент		08.06.2022

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	Кащук И.В.	к.т.н., доцент		08.06.2022

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М.С.	—		08.06.2022

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		08.06.2022

Результаты освоения ООП

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, 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 и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, 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 и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, 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.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, 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 и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров,	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.	16.020, Специалист по эксплуатации воздушных и кабельных муниципальных линий электропередачи; 16.019, Специалист по эксплуатации трансформаторных подстанций и распределительных пунктов;
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 16.020, Специалист по эксплуатации воздушных и кабельных муниципальных линий электропередачи; 16.019, Специалист по эксплуатации трансформаторных подстанций и распределительных пунктов; 40.011, Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам
P12	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, <i>CDIO Syllabus</i> , АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , требования профессиональных стандартов 16.020, Специалист по эксплуатации воздушных и кабельных муниципальных линий электропередачи; 16.019, Специалист по эксплуатации трансформаторных подстанций и распределительных пунктов.

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

Специализация Электроснабжение

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ «__» _____ 2022 г. В.В. Шестакова

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-5А7Д	Зуеву Леониду Петровичу

Тема работы:

Разработка системы электроснабжения завода среднего машиностроения с детальной разработкой механического цеха	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 18.11.2021г. №322-57/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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>	Получены по материалам преддипломной практики: 1. Генплан предприятия 2. План цеха 3. Электрические нагрузки завода 4. Типы и мощности электроприемников в цехе
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,</i>	1. Общие сведения о предприятии 2. Определение расчетной нагрузки цеха 3. Определение расчетной нагрузки предприятия 4. Картограмма и определение центра электрических нагрузок 5. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов 6. Компенсация реактивной мощности 7. Схема внешнего электроснабжения

подлежащих разработке; заключение по работе).	8. Схема внутриводской сети выше 1000 В 9. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В 10. Выбор и проверка оборудования в сети выше 1000 В 11. Электроснабжение цеха 12. Выбор защитных аппаратов и сечений линий, питающих распределительные пункты и электроприемники 13. Построение эпюры отклонения напряжения 14. Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В 15. Построение карты селективности действия аппаратов защиты 16. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 17. Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Картограмма нагрузок. Распределительная сеть 2. Схема электрическая принципиальная ГПП 3. Схема электрическая принципиальная распределительной сети 4. План силовой сети цеха 5. Принципиальная схема КТП 6. Однолинейная схема ВРУ 7. Однолинейная схема ПР 8. Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности 9. План прокладки сетей освещения 10. Однолинейная схема сетей освещения ЩО1 11. Изолинии
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.т.н., Кашук И.В.
Социальная ответственность	Старший преподаватель, Черемискина М.С.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	18.11.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Плотников И.А.	К.Т.Н., доцент		18.11.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А7Д	Зуев Леонид Петрович		18.11.2021

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

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.02.2022	<i>Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет нагрузок цеха.</i>	10
20.02.2022	<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
07.03.2022	<i>Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.</i>	15
26.03.2022	<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
28.03.2022	<i>Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутризаводских линий по токам КЗ.</i>	5
04.04.2022	<i>Выбор и проверка высоковольтного оборудования</i>	10
11.04.2022	<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
15.05.2022	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	15
18.05.2022	<i>Социальная ответственность</i>	10
	<i>Итого</i>	100

СОСТАВИЛ: Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Плотников И.А.	К.Т.Н., доцент		18.11.2022

СОГЛАСОВАНО: Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	К.Т.Н., доцент		18.11.2022

Реферат

Выпускная квалификационная работа 192 с., 21 рис., 60 табл., 43 источника, 12 прил.

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

Объектом исследования является электрическая часть завода среднего машиностроения.

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 и вакуумные выключатели, в низковольтной сети – автоматические выключатели. Воздушные линии располагаются на опорах, кабельные – на лотках, в коробах и в траншеях. 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.

Содержание

Условные обозначения и сокращения.....	11
Введение.....	12
1 Общие сведения об объекте электроснабжения	13
1.1 Роль предприятия в хозяйственной деятельности	13
1.2 Инженерные изыскания	14
1.2.1 Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности	14
1.2.2 Инженерные изыскания по климатическим условиям местности ...	14
1.2.3 Инженерные изыскания по гидрологическим условиям местности	15
1.3 Технологический процесс.....	16
1.4 Особенности электроснабжения предприятия и производственного помещения	18
1.5 Исходные данные.....	19
2 Электроснабжение объектов на территории предприятия	28
2.1 Определение расчетной нагрузки производственного помещения.....	28
2.2 Расчет электрических нагрузок предприятия	34
2.3 Картограмма электрических нагрузок.....	45
2.4 Распределение источников питания по территории предприятия	50
2.5 Разработка линий электроснабжения выше 1000 В по территории предприятия.....	59
2.6 Разработка линий электроснабжения до 1000 В по территории предприятия.....	67
2.7 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	68
3 Внешнее электроснабжение предприятий.....	80
3.1 Разработка схемы внешнего электроснабжения	80
3.2 Выбор трансформатора главной понизительной подстанции	82
3.3 Разработка линии электроснабжения главной понизительной подстанции	83
3.4.1 Выбор выключателей и разъединителей	84

3.4.2	Выбор измерительных трансформаторов тока	86
3.4.3	Выбор измерительных трансформаторов напряжения	89
3.4.4	Выбор ограничителя перенапряжения	90
3.4.5	Выбор трансформаторов собственных нужд	91
3.5	Выбор оборудования закрытого распределительного устройства главной понизительной подстанции	93
3.5.1	Выбор типа закрытого распределительного устройства	93
3.5.2	Выбор оборудования закрытого распределительного устройства ..	97
4	Электроснабжение промышленных потребителей в здании механического цеха	100
4.1	Распределение электроприёмников производственного помещения по пунктам питания	100
4.2	Расчет электрических нагрузок производственного помещения	102
4.3	Выбор защитных аппаратов и проводников	109
4.4	Оценка установившегося отклонения напряжений	120
4.5	Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В	127
4.6	Построение карты селективности действия аппаратов защиты	131
4.7	Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ	133
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	139
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения ...	139
5.1.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта	139
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений	140
5.1.3	SWOT-анализ	142
5.2	Планирование выполнения работ по проекту	145
5.2.1	Структура работ в рамках проектной работы	145
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения работ	146

5.3 Бюджет проектной работы.....	149
5.3.1 Расчет материальных затрат	149
5.3.2 Расчет амортизации оборудования.....	149
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей	150
5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	152
5.3.5 Накладные расходы.....	153
5.3.6 Формирование бюджета затрат проектной работы	153
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проектной работы	154
5.5 Выводы по разделу	157
6 Социальная ответственность	162
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	162
6.2 Производственная безопасность	164
6.2.1 Отклонение показателей микроклимата	164
6.2.2 Повышенный уровень шума	166
6.2.3 Повышенный уровень вибрации	168
6.2.4 Недостаточный уровень освещения	169
6.2.5 Электробезопасность	170
6.2.6 Движущиеся машины и механизмы	171
6.3 Экологическая безопасность	172
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	173
6.5 Выводы по разделу	174
Заключение	175
Список использованных источников	178
Приложение А Светотехнический расчёт	182
Приложение Б. Комплекс чертежей.....	192

Условные обозначения и сокращения

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;

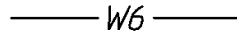
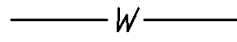
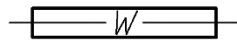
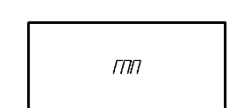
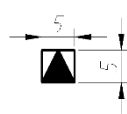
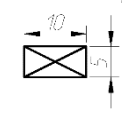
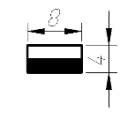
РУнн – распределительное устройство низкого напряжения, ниже 1000 В;

ЦН – центр электрических нагрузок;

ВЛ – воздушная линия электропередач;

КЛ – кабельная линия электропередач.

Графические обозначения

	WL 10	– Воздушная линия электропередач 6-10 кВ
	WL 6	– Воздушная линия электропередач 0,4 кВ
	WL	– Воздушная линия электропередач 0,4 кВ
	W10	– Кабельная линия 6-10 кВ
	W6	– Кабельная линия 0,4 кВ
	W	– Кабельная линия 0,4 кВ
	W	– Кабельная линия в термостойкой защитной трубе
	ГПП	– Главная понизительная подстанция (размер фигуры чертится в соответствии с масштабом чертежа и классом напряжения подстанции)
	5 5	– Трансформаторная подстанция 6-10/0,4 кВ
	10 5	– Распределительное устройство 6-10 кВ
	8 4	– 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

Введение

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

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

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

Современные системы электроснабжения промышленных предприятий должны удовлетворять определенным требованиям:

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

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

1 Общие сведения об объекте электроснабжения

1.1 Роль предприятия в хозяйственной деятельности

Машиностроение – вид производственной деятельности предприятий обрабатывающей промышленности и сферы услуг, специализирующихся на проектировании, производстве, обслуживании и утилизации всевозможных машин, технологического оборудования и их деталей.

Машиностроительная промышленность является ведущей отраслью народного хозяйства, которое определяет дальнейшее ускорение и развитие научно-технического процесса в других отраслях. Основными задачами машиностроения является непрерывное повышение качества машин и оборудования, совершенствование роста производительности труда на предприятиях. Выполнению этих задач способствуют организация работы на основе современных средств производства, внедрение передовой технологии и прогрессивной технологической оснастки.

В состав среднего машиностроения входят:

- автомобилестроение (автомобильная промышленность);
- тракторостроение (тракторостроение);
- двигателестроение;
- станко-инструментальное машиностроение (станкостроение, инструментальная промышленность);
- разработка и производство технологического оборудования для лёгкой (лёгкое машиностроение) и пищевой промышленности (оборудование лёгкой промышленности, оборудование пищевой промышленности);
- строительство роботов (робототехника);
- строительство бытовых приборов (промышленность бытовых приборов и машин).

1.2 Инженерные изыскания

1.2.1 Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности

Архангельская область расположена на севере Восточно-Европейской равнины. Омывается Белым, Баренцевым, и Карским морями. Архангельская область располагается близко к арктическим морям и удалена от тёплого Северо-Атлантического течения (ответвление Гольфстрима).

Граничит на западе с Карелией, на севере с Мурманской областью (граница проходит через Белое море), на юге с Вологодской и Кировской областями, на северо-востоке (Ненецкий автономный округ) с Тюменской областью и (одновременно) Ямало-Ненецким автономным округом, на востоке и северо-востоке с Республикой Коми, на востоке с Красноярским краем (граница проходит через Карское море).

Географические координаты объекта 63°30' с.ш. 43°00' в.д. [2].

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

Тип местности: равнинная. Высота над уровнем Балтийского моря областного центра: 4 метра [2].

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

Почвы тундрово - глеевые и тундрово - болотные. Зона лесотундры характеризуется сочетанием редколесий с безлесными тундровыми участками и преобладанием торфяно - глеевых и слабоподзолистых почв [4].

1.2.2 Инженерные изыскания по климатическим условиям местности

Климат области умеренно континентальный, на северо-западе – морской, на северо-востоке – субарктический. Характерны прохладное лето и продолжительная холодная зима, частая смена воздушных масс, поступающих из Арктики и средних широт. Погода крайне неустойчива [2].

Годовое количество осадков – 400-600 мм [2].

Температура воздуха наиболее холодных суток -39 °С. Абсолютная минимальная температура воздуха -45 °С. Абсолютная максимальная температура воздуха +34 °С. Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца +20,9 °С. Среднегодовая температура +0,8 °С [5].

Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе: 35-864 МДж/м². Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на вертикальную поверхность при безоблачном небе: 41-674 МДж/м² [5].

Преобладающее направление ветра за декабрь - февраль: ЮВ. Преобладающее направление ветра за июнь - август: СЗ [5]. Область относится к II зоне по ветровому давлению [6].

Среднегодовая продолжительность гроз: от 20 до 40 часов [6].

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

1.2.3 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.

1.3 Технологический процесс

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Полностью укомплектованный автомобиль направляется своим ходом на посты для регулировки света фар, установки углов схождения и развала

передних колес, регулировки тормозов, проверки ходовых характеристик на динамометрических роликах.

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

Механический цех предназначен для выполнения станочных ремонтных работ, механической обработки деталей, подлежащих изготовлению и обработке после наплавочных, гальванических и других видов работ.

В связи с этим механический цех в своём составе имеет участок восстановления деталей с оборудованием необходимым для этих целей; участок по изготовлению деталей и запасных частей; участок общих ремонтных работ; слесарный участок; склад металла и заготовок; склад вспомогательных материалов; инструментальную кладовую; заготовительное отделение; участок ОТК; склад готовых деталей.

1.4 Особенности электроснабжения предприятия и производственного помещения

Проектируемый объект относится к II категории по надежности электроснабжения. Электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Питание завода будет осуществляться от одной из действующих подстанций по двухцепной линии электропередачи. Класс напряжения

питающей линии, согласно установленной мощности предприятия, а также ее протяженности 35 кВ.

Распределительная сеть выше 1000 вольт выполняется кабельными линиями с изоляцией из сшитого полиэтилена с алюминиевыми жилами по радиальной схеме в траншеях. На предприятии предусмотрена компенсация реактивной мощности, как по стороне 10 кВ, централизованно на ГПП, так и локально на шинах цеховых трансформаторных подстанций и ВРУ на стороне 0,4 кВ.

Высоковольтная нагрузка запитывается от распределительного устройства 10 кВ.

Механический цех относится к нагрузке III категории, соответственно запитывается может как от однострансформаторной цеховой подстанции, так и от двухтрансформаторной.

В рассматриваемом производственном помещении отсутствует высоковольтная нагрузка. Распределительная сеть цеха осуществляется кабельными линиями с алюминиевыми жилами с изоляцией из ПВХ в коробах и на лотках по радиальной схеме. ВРУ цеха запитывается от цеховой трансформаторной подстанции бронированным кабелем с медными жилами, с прокладкой в земле.

1.5 Исходные данные

Задание: разработать проект системы электроснабжения завода среднего машиностроения, расположенного в Архангельской области. Разработать проект системы электроснабжения для механического цеха, работающего в составе завода среднего машиностроения и являющегося одним из вспомогательных цехов в технологической цепочке производства автомобилей.

Исходными данными к проектированию являются:

1. Генеральный план предприятия (рисунок 1.1).
2. Сведения об электрических нагрузках производственных помещений, характеристика потребителей электроэнергии (таблица 1.1);
3. Строительные параметры и среда производственных помещений (таблица 1.2);
4. План рассматриваемого производственного помещения (рисунок 1.2.);
5. Сведения об электрических нагрузках производственного помещения (таблица 1.2.);
6. Длина питающей линии (таблица 1.1).

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

План производственного помещения аналогично позволяет определить оптимальное расположение пунктов питания электроприёмников и трасс распределительной и питающей сети.

Строительные параметры позволяют оценить площади производственных помещений и всего предприятия. Также данные параметры необходимы для определения мощности освещения.

Среда производственных помещений влияет на выбор способа прокладки кабельных линий, а также на выбор марки кабеля.

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

Таблица 1.1 – Ведомость электрических нагрузок предприятия

Потребитель	Категория	U _{ном} , кВ	P _{уст} , кВт	K _с , кВт	cosφ
1 Литейный цех	II	0,38	1100	0,20	0,75
2 Механический цех	III	0,38	–	–	–
3 Инструментальный цех	III	0,38	600	0,30	0,60
4 Штамповочный цех	II	0,38	420	0,40	0,75
5 Деревообрабатывающий цех	III	0,38	220	0,40	0,80
6 Сборочный цех	II	0,38	480	0,55	0,70
7 Кузнечный цех	II	0,38	900	0,20	0,75
8 Экспериментальный цех	II	0,38	320	0,35	0,70
9 Компрессорная	II	(СД) 10 0,38	2 × 600 80	0,50	1,0 0,65
10 Насосная	III	0,38	660	0,40	0,75
11 Лаборатория	III	0,38	300	0,45	0,70
12 Ремонтно-механический цех	III	0,38	500	0,30	0,60
13 Заводоуправление	III	0,38	120	0,40	0,70
Источник питания L = 32,0 км	–	–	–	–	–

Таблица 1.2 – Строительные параметры и среда производственных помещений

Потребитель	Высота h, м	Длина А, м	Ширина В, м	Площадь F, м ²	Периметр П, м	Среда
1 Литейный цех	6,0	130,0	40,0	5200	340,0	жаркая
2 Механический цех	4,5	150,0	48,0	7200	396,0	нормальная
3 Инструментальный цех	4,5	150,0	48,0	7200	396,0	нормальная
4 Штамповочный цех	4,0	150,0	48,0	7200	396,0	нормальная
5 Деревообрабатывающий цех	3,5	116,0	52,0	6032	336,0	пожароопасная
6 Сборочный цех	12,0	200,0	80,0	16000	560,0	нормальная
7 Кузнечный цех	6,0	100,0	68,0	6800	336,0	нормальная
8 Экспериментальный цех	10,0	70,0	50,0	3500	240,0	нормальная
9 Компрессорная	3,2	70,0	54,0	3780	248,0	нормальная
10 Насосная	4,0	116,0	52,0	6032	336,0	влажная
11 Лаборатория	3,8	116,0	52,0	6032	336,0	нормальная
12 Ремонтно-механический цех	5,0	70,0	50,0	3500	240,0	нормальная
13 Заводоуправление	3,2	100,0	44,0	4400	288,0	нормальная
Территория предприятия	–	–	–	405504	2592,0	–

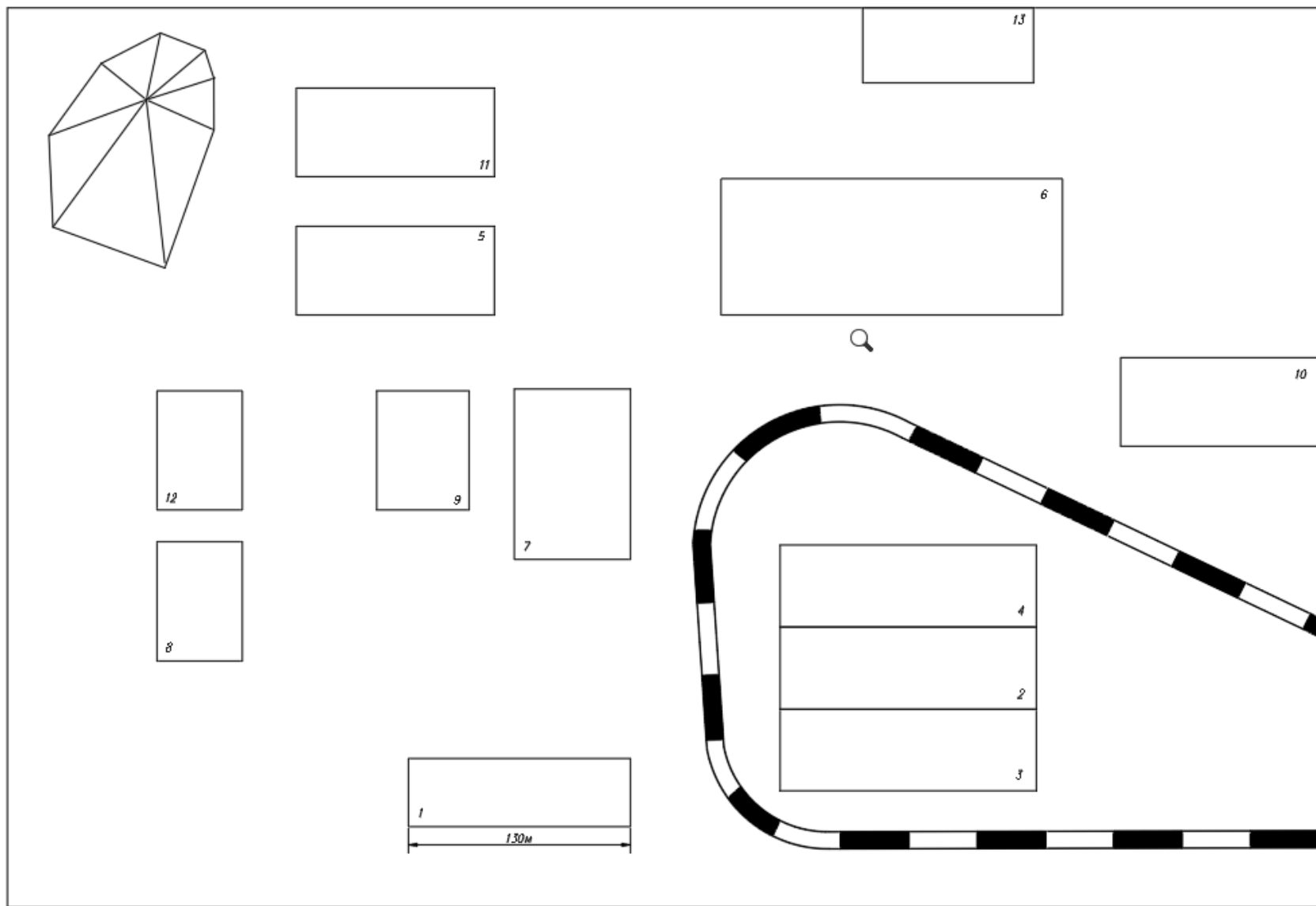


Рисунок 1.1 – Генплан предприятия

Таблица 1.3 – Сведения об электрических нагрузках механический цеха

Наименование	$P_{ном}, \text{ кВт}$	$k_{исп}$	$\cos\varphi$	$\tg\varphi$
1	2	3	4	5
1 Вертикально-фрезерный станок	6,0	0,20	0,50	1,73
2 Вертикально-фрезерный станок	6,0	0,20	0,50	1,73
3 Вертикально-фрезерный станок	6,0	0,20	0,50	1,73
4 Фрезерный станок с ЧТП	18,0	0,20	0,50	1,73
5 Фрезерный станок с ЧТП	18,0	0,20	0,50	1,73
6 Универсально-фрезерный станок	10,0	0,20	0,50	1,73
7 Универсально-фрезерный станок	10,0	0,20	0,50	1,73
8 Токарно-револьверный станок	4,0	0,20	0,50	1,73
9 Токарно-револьверный станок	4,0	0,20	0,50	1,73
10 Токарно-револьверный станок	4,0	0,20	0,50	1,73
11 Токарно-револьверный станок	4,0	0,20	0,50	1,73
12 Токарно-винторезный станок	10,0	0,20	0,50	1,73
13 Токарно-винторезный станок	10,0	0,20	0,50	1,73
14 Настольно-сверлильный станок (однофазный)	4,0	0,20	0,50	1,73
15 Настольно-сверлильный станок (однофазный)	4,0	0,20	0,50	1,73
16 Настольно-сверлильный станок (однофазный)	4,0	0,20	0,50	1,73
17 Настольно-сверлильный станок (однофазный)	4,0	0,20	0,50	1,73
18 Настольно-сверлильный станок (однофазный)	4,0	0,20	0,50	1,73
19 Настольно-сверлильный станок (однофазный)	4,0	0,20	0,50	1,73
20 Настольно-сверлильный станок (однофазный)	4,0	0,20	0,50	1,73
21 Настольно-сверлильный станок (однофазный)	4,0	0,20	0,50	1,73
22 Резьбонарезной полуавтомат	3,0	0,20	0,50	1,73
23 Резьбонарезной полуавтомат	3,0	0,20	0,50	1,73
24 Резьбонарезной полуавтомат	3,0	0,20	0,50	1,73
25 Заточной станок (однофазный)	2,0	0,20	0,50	1,73
26 Заточной станок (однофазный)	2,0	0,20	0,50	1,73
27 Листозагибочная машина	15,0	0,25	0,50	1,73
28 Точильно-шлифовальный станок	2,0	0,20	0,50	1,73
29 Точильно-шлифовальный станок	2,0	0,20	0,50	1,73
30 Точильно-шлифовальный станок	2,0	0,20	0,50	1,73
31 Точильно-шлифовальный станок	2,0	0,20	0,50	1,73
32 Вертикально-сверлильный станок	8,0	0,20	0,50	1,73
33 Вертикально-сверлильный станок	8,0	0,20	0,50	1,73
34 Вертикально-сверлильный станок	8,0	0,20	0,50	1,73
35 Радиально-сверлильный станок	12,0	0,20	0,50	1,73
36 Радиально-сверлильный станок	12,0	0,20	0,50	1,73
37 Универсально-заточной станок	4,0	0,20	0,50	1,73
38 Универсально-заточной станок	4,0	0,20	0,50	1,73

Окончание таблицы 1.3

1	2	3	4	5
39 Плоскошлифовальный станок	16,0	0,20	0,50	1,73
40 Полировальный станок	4,0	0,20	0,50	1,73
41 Полировальный станок	4,0	0,20	0,50	1,73
42 Сварочная машина ПВ = 60%	10,0	0,50	0,70	1,02
43 Сварочная кабина	6,0	0,50	0,70	1,02
44 Сварочная кабина	6,0	0,50	0,70	1,02
45 Сварочная кабина	6,0	0,50	0,70	1,02
46 Сварочная кабина	6,0	0,50	0,70	1,02
47 Сварочная кабина	6,0	0,50	0,70	1,02
48 Сварочная кабина	6,0	0,50	0,70	1,02
49 Вентиляторы	18,0	0,75	0,80	0,75
50 Вентиляторы	18,0	0,75	0,80	0,75

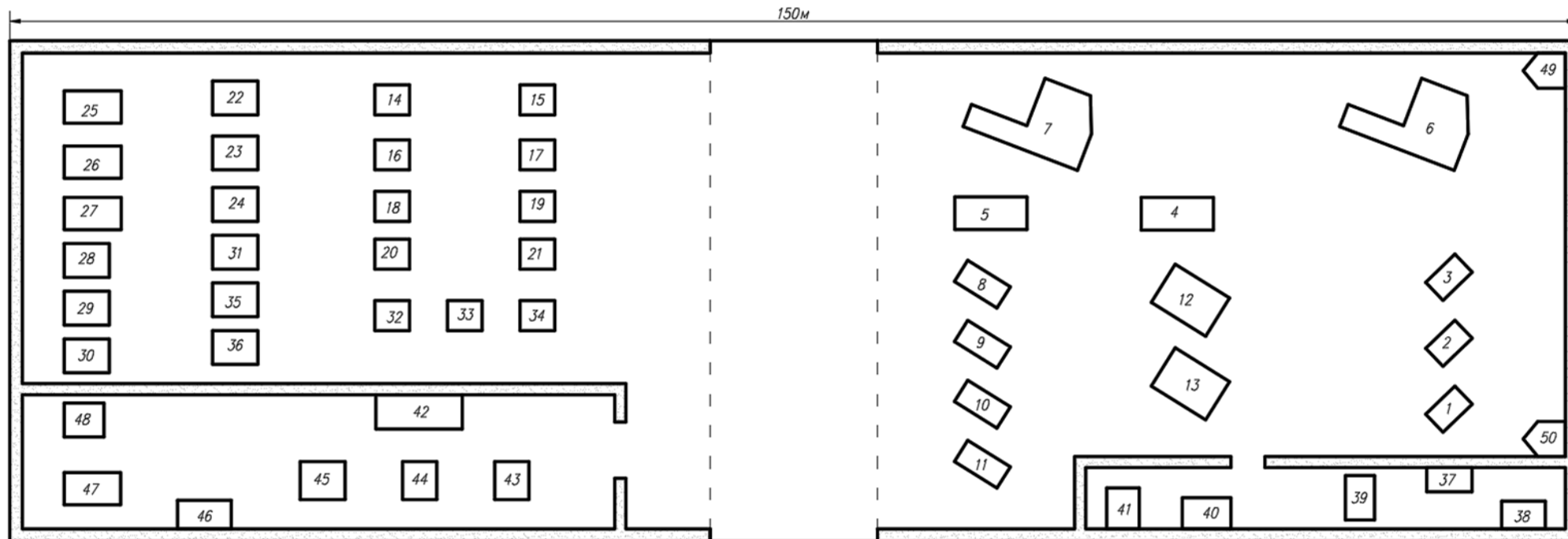


Рисунок 1.2 – План механического цеха

По исходным данным видно, что на предприятии присутствует нагрузка II и III категорий. Питание нагрузки II категории необходимо осуществить с учетом резервирования.

Точка подключения предприятия к энергосистеме расположена на удалении 32 километров от предприятия. Подключение осуществляется к действующей подстанции энергосистемы.

Внутризаводское электроснабжение осуществляется на напряжении 10 кВ. На предприятии используется высоковольтная нагрузка в виде синхронных двигателей суммарной мощностью 1000 кВт.

На предприятии есть производственные помещения с жаркой и пожароопасной средой. В механическом цехе среда нормальная. Это необходимо учесть при выборе сечений кабельных линий.

По генплану видно, что на предприятии высокая плотность застройки. Это может повлиять на месторасположения главной понизительной подстанции (ГПП) и цеховых трансформаторных подстанций. Количество объектов на территории равно тринадцати. Мощность производственных помещений по стороне 0,4 кВ находится в диапазоне от 80 до 1100 кВт.

Цех состоит из нескольких крупных пролетов. В рассматриваемом производственном помещении пятьдесят электроприёмников. Мощность используемых электроприёмников находится в диапазоне от 4 до 18 кВт. Также в цехе используются приёмники с повторно-кратковременным режимом работы.

Предоставленных данных достаточно для того, чтобы рассчитать систему электроснабжения предприятия. При расчёте необходимо использовать справочные данные.

Расчёт электроснабжения должен вестись в соответствии с ПУЭ, ПТЭЭП и НТП ЭПП-94.

Освещение производственных помещений должно вестись в соответствии со СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» и ГОСТ 21. 608-14 «Система проектной документации для строительства.

Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения».

Графическое оформление в соответствии с нормами, указанными в ГОСТ 21.1101-2013 «Основные требования к проектной и рабочей документации», ГОСТ 21.613-14 «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации силового электрооборудования».

2 Электроснабжение объектов на территории предприятия

2.1 Определение расчетной нагрузки производственного помещения

Расчет электрических нагрузок предприятия начинается с определения электрических нагрузок каждого из объектов электроснабжения. Для производственных помещений он должен быть выполнен методом «расчетного максимума нагрузок» в соответствии с требованиями НТП ЭПП-94.

На данном этапе проектирования, целью расчета электрической нагрузки методом «коэффициента расчетного максимума» является определение мощности ввода в производственное помещение, поэтому все электроприемники помещения считаются одной группой электроприемников относительно источника питания.

Для упрощения расчёта необходимо сгруппировать электроприёмники с одинаковыми коэффициентами использования и мощности. При этом резервные электроприёмники в расчёте не учитываются, а номинальные мощности электроприёмников с повторно-кратковременным режимом работы не приводятся к длительному режиму работы (ПВ = 100%).

В паспортных данных трансформаторов указывается полная мощность. Тогда активная мощность сварочной машины

$$P_{\text{пасп}} = S_{\text{пасп}} \cdot \cos\varphi = 10,0 \cdot 0,70 = 7,0 \text{ кВт.}$$

При определении расчетной нагрузки необходимо учесть наличие однофазных электроприёмников. В данном случае это настольно-сверлильные и заточные станки.

Необходимо максимально равномерно распределить однофазные электроприёмники по трем фазам

$$\sum P_{\text{ном.о(A)}} = 12,0 \text{ кВт,} \quad \sum P_{\text{ном.о(B)}} = 12,0 \text{ кВт,} \quad \sum P_{\text{ном.о(C)}} = 12,0 \text{ кВт.}$$

Общая нагрузка каждой фазы от однофазных и трехфазных приёмников

$$P_{\text{НОМ}(A)} = \sum P_{\text{НОМ.о}(A)} + \frac{\sum P_{\text{НОМ}(3)}}{3} = 12,0 + \frac{304,0}{3} = 113,3 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{НОМ}(B)} = \sum P_{\text{НОМ.о}(B)} + \frac{\sum P_{\text{НОМ}(3)}}{3} = 12,0 + \frac{304,0}{3} = 113,3 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{НОМ}(C)} = \sum P_{\text{НОМ.о}(C)} + \frac{\sum P_{\text{НОМ}(3)}}{3} = 12,0 + \frac{304,0}{3} = 113,3 \text{ кВт},$$

где $\sum P_{\text{НОМ}(3)}$ – суммарная установленная мощность трехфазных электроприёмников, кВт.

Неравномерность загрузки фаз

$$\Delta P_{\text{нр}} = \frac{P_{\text{НОМ.мах}} - P_{\text{НОМ.мин}}}{P_{\text{НОМ.мин}}} \cdot 100\% = \frac{113,3 - 113,3}{113,3} \cdot 100\% = 0\% < 15\%,$$

где $P_{\text{НОМ.мах}}$, $P_{\text{НОМ.мин}}$ – установленные мощности наиболее и наименее загруженной фазы, кВт.

Так как неравномерность не превышает 15%, то однофазные электроприёмники могут быть представлены в расчете как эквивалентная группа трехфазных электроприёмников с той же суммарной номинальной мощностью [1, стр. 68].

Расчет электрических нагрузок производственного помещения сведён в таблицу 2.1.

Суммарная номинальная мощность электроприемников производственного помещения, по таблице 2.1

$$\sum P_{\text{н}} = 337,0 \text{ кВт}.$$

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

Расчетные величины (на примере вертикально-фрезерного станка)

$$k_{\text{у}} \cdot P_{\Sigma\text{н}} = 0,20 \cdot 243,0 = 48,6 \text{ кВт},$$

$$k_{\text{у}} \cdot P_{\Sigma\text{н}} \cdot \text{tg}\varphi = 0,20 \cdot 243,0 \cdot 1,73 = 84,2 \text{ кВАр},$$

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

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

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

Итоговые значения по производственному помещению

$$\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H}) = 100,9 \text{ кВт}, \quad \sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg}\varphi) = 132,9 \text{ кВАр}.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\operatorname{tg}\varphi_{cp} = \frac{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg}\varphi)}{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H})} = \frac{132,9}{100,9} = 1,32.$$

Таблица 2.1 – Определение расчетных нагрузок производственного помещения

Исходные данные									Расчетные величины		Эффективное число ЭП n_3 , шт	Коэффициент расчетной активной нагрузки k_p	Расчетная мощность		
По заданию технологов						Справочные данные			$k_n \cdot P_{\Sigma n}$, кВт	$k_n \cdot P_{\Sigma n} \cdot \text{tg}\varphi$, кВАр			$P_p = k_p \cdot \Sigma(k_n \cdot P_n)$, кВт	$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi$, кВАр	$S_p = \sqrt{(P_p^2 + Q_p^2)}$, кВА
№ ЭП по плану помещения	Наименование ЭП	Количество ЭП n , шт	Номинальная мощность, кВт		общая $P_{\Sigma n}$	Коэффициент использования K_n	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	Коэффициент мощности $\text{tg}\varphi$							
			$P_{n.\min}$	$P_{n.\max}$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1-26, 28-41	Станки разные	40	2,0	18,0	243,0	0,20	0,50	1,73	48,6	84,2	–	–	–	–	–
27	Листозагибочная машина	1	15,0	15,0	15,0	0,25	0,50	1,73	3,8	6,5	–	–	–	–	–
42-48	Сварочное оборудование	7	6,0	7,0	43,0	0,50	0,70	1,02	21,5	21,9	–	–	–	–	–
49, 50	Вентиляторы	2	18,0	18,0	36,0	0,75	0,80	0,75	27,0	20,3	–	–	–	–	–
Итого по силовой нагрузке производственного помещения		50	2,0	18,0	337,0	0,30	0,60	1,32	100,9	132,9	37	0,75	75,6	99,6	125,1
Электрическое освещение		1	–	–	53,8	0,95	0,95	0,33	51,1	16,8			51,1	16,8	53,8
Итого по производственному помещению		51	2,0	18,0	390,8	0,39	0,71	0,98	152,0	149,7	–	–	126,7	116,4	172,1

Средневзвешенный коэффициент использования

$$k_{u.c.p} = \frac{\sum(k_u \cdot P_{\Sigma H})}{\sum P_H} = \frac{100,9}{337,0} = 0,30.$$

Эффективное число электроприемников по производственному помещению определяется по упрощенному методу расчёта, так как в цехе большое количество электроприёмников

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot 337,0}{18,0} = 37,4 \text{ шт},$$

принимаем $n_{\text{э}} = 37$ шт.

Для найденных значений $n_{\text{э}}$ и $k_{u.c.p}$ определяем значение коэффициента расчетной нагрузки [1, стр. 72, табл. 3.3], при этом промежуточное значение находится методом линейной интерполяции

$$y = y_1 - \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1),$$

где принимаем, что $y = k_p$, $x = k_u$, тогда

$$y_1 = 0,75; \quad y_2 = 0,75; \quad x_1 = 0,20; \quad x_2 = 0,30; \quad x = 0,30.$$

Коэффициент расчетной нагрузки активной мощности

$$k_p = 0,75 - \frac{0,75 - 0,75}{0,30 - 0,20} \cdot (0,30 - 0,20) \approx 0,75.$$

Расчётная активная, реактивная и полная мощности электроприёмников

$$P_p = k_p \cdot \sum (k_u \cdot P_{\Sigma H}) = 0,75 \cdot 100,9 = 75,6 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg} \varphi = 75,6 \cdot 1,32 = 99,6 \text{ кВАр},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{75,6^2 + 99,6^2} = 125,1 \text{ кВА}.$$

Для освещения цеха применяется светодиодное освещение.

Расчёт освещения был произведен в программном комплексе DIALux. Результаты расчёта приведены в Приложении А.

Номинальная нагрузка осветительных приемников цеха по результатам расчёта

$$P_{H.O} = 53,8 \text{ кВт}.$$

Расчётная активная, реактивная и полная мощности осветительных приёмников производственного помещения

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{n.o} = 0,95 \cdot 53,8 = 51,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o = 51,1 \cdot 0,33 = 16,8 \text{ кВАр},$$

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{51,1^2 + 16,8^2} = 53,8 \text{ кВА}.$$

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

$\operatorname{tg} \varphi_o$ – для светодиодных ламп ($\cos \varphi_o = 0,95$).

Определение расчётной нагрузки производственного помещения с учетом освещения

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ &= \sqrt{(75,6 + 51,1)^2 + (99,6 + 16,8)^2} = \sqrt{126,7^2 + 116,4^2} = 172,1 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Таким образом, в данном подразделе была предварительно определена расчетная мощность производственного помещения методом расчетного максимума нагрузок с учётом нагрузки освещения.

2.2 Расчет электрических нагрузок предприятия

В большой группе электроприемников, происходит постоянное изменение электрической нагрузки (в зависимости от технологического процесса, происходит постоянное изменение загрузки работающих электроприемников, включаются неработающие электроприемники и выключаются работающие), при этом общее потребление электрической энергии всей группой остается примерно постоянной величиной. В большой группе электроприемников нет явно выраженных максимумов и минимумов нагрузок.

Каждое производственное помещение предприятия можно считать большой группой электроприемников, так как в большинстве случаев количество электроприемников в этих помещениях превышает 50 штук. Расчет электрических нагрузок для больших групп электроприемников выполняют методом «коэффициента спроса», в частности, когда требуется определить только расчетную мощность всего помещения, без деления электроприёмников на более мелкие группы.

Если заказчик не предоставил актуальных данных объекта коэффициент спроса допустимо определять по справочной литературе.

Расчётные электрические нагрузки производственных помещений и высоковольтных электроприемников нужны для проектирования внутризаводской распределительной сети, кроме того, перед проектировщиком стоит задача определение нагрузок на главную понизительную подстанцию, от которой питается предприятие.

Электрическая нагрузка предприятия на главную понизительную подстанцию складывается из силовой нагрузки предприятия на разных напряжениях, осветительных нагрузок, потерь мощности в трансформаторах распределительной сети, потерь мощности в линиях распределительной сети, потерь мощности в трансформаторах главной понизительной подстанции.

Расчётная нагрузка (активная и реактивная) силовых приемников производственного помещения определяются из соотношений

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

где $P_{уст}$, $Q_{уст}$ – установленные значения мощности производственных помещений, кВт, кВАр соответственно;

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

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

Расчёт осветительной нагрузки производственных помещений идентичен расчету осветительной нагрузки рассчитанного цеха. Расчётная активная мощность групп приемников выше 1000 В определяется по вышеприведенным формулам и учитываются отдельно.

Пример расчета (Литейный цех)

$$P_{уст} = 1100 \text{ кВт}, \quad K_c = 0,20, \quad \cos\varphi = 0,75, \quad \operatorname{tg}\varphi = 0,88.$$

Расчетные активная и реактивная мощности производственного помещения

$$P_p = K_c \cdot P_{уст} = 0,20 \cdot 1100,0 = 220,0 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 220,0 \cdot 0,88 = 194,0 \text{ кВАр}.$$

Норма общего освещения по СП52 и характеру производимых работ для рассматриваемого производственного помещения

$$E = 200 \text{ лк}.$$

Индекс помещения по геометрическим размерам производственного помещения

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{F_{п.п.}}{h \cdot \frac{\Pi}{2}} = \frac{5200}{6,0 \cdot \frac{340,0}{2}} = 5,10,$$

где $F_{п.п.}$ – площадь производственного помещения, м².

Π – периметр производственного помещения, м.

Тогда предельно допустимая удельная мощность осветительной установки по СП 52 составит

$$\rho_0 = 5,0 \text{ Вт/м}^2$$

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

$$P_{н.о} = \rho_0 \cdot F_{п.п.} = 0,005 \cdot 5200 = 26,0 \text{ кВт.}$$

Расчетная нагрузка осветительных приемников производственного помещения

$$P_{р.о} = K_{со} \cdot P_{н.о} = 0,95 \cdot 26,0 = 24,7 \text{ кВт,}$$

$$Q_{р.о} = P_{р.о} \cdot \text{tg}\varphi_0 = 24,7 \cdot 0,33 = 8,1 \text{ кВАр.}$$

Полная максимальная мощность производственного помещения

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{р.о})^2 + (Q_p + Q_{р.о})^2} = \\ &= \sqrt{(220,0 + 24,7)^2 + (194,0 + 8,1)^2} = 317,4 \text{ кВА.} \end{aligned}$$

Для других производственных помещений расчёт проводится аналогично. Для систематизации рассчитанных нагрузок используются таблицы 2.2 и 2.3.

Расчёт освещения на территории предприятия

Предельно допустимая удельная мощность осветительной установки

$$\rho_0 = 0,05 \text{ Вт/м}^2.$$

Номинальная нагрузка осветительных приемников на территории предприятия

$$P_{н.о} = \rho_0 \cdot \left(F_{\text{пред}} - \sum F_{п.п.} \right) = 0,00005 \cdot (405504 - 82876) = 16,1 \text{ кВт,}$$

где $F_{\text{пред}}$ – площадь предприятия, м^2 ;

$\sum F_{п.п.}$ – суммарная мощность производственных помещений предприятия, м^2 .

Расчетная нагрузка осветительных приемников на территории предприятия

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{n.o} = 1,0 \cdot 16,1 = 16,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o = 16,1 \cdot 0,33 = 5,3 \text{ кВАр},$$

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{16,1^2 + 5,3^2} = 17,0 \text{ кВА}.$$

Для удобства вынесем отдельно результаты расчетов

$$\sum P_p^H = 1924,6 \text{ кВт},$$

$$\sum Q_p^H = 1956,5 \text{ кВАр},$$

$$\sum P_{p.o} = 716,7 \text{ кВт},$$

$$\sum Q_{p.o} = 235,6 \text{ кВАр},$$

$$\sum P_p^B = 600,0 \text{ кВт},$$

$$\sum Q_p^B = 0 \text{ кВАр}.$$

Таблица 2.2 – Результаты расчета электрических нагрузок методом коэффициента спроса

Наименование цеха	Силовая нагрузка					
	$P_{уст}, \text{ кВт}$	K_c	$\cos\varphi$	$\tg\varphi$	$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ кВАр}$
1	2	3	4	5	6	7
Потребители электроэнергии до 1000 В						
1 Литейный цех	1100,0	0,20	0,75	0,88	220,0	194,0
2 Механический цех	337,0	–	0,60	1,32	75,6	99,6
3 Инструментальный цех	600,0	0,30	0,60	1,33	180,0	240,0
4 Штамповочный цех	420,0	0,40	0,75	0,88	168,0	148,2
5 Деревообрабатывающий цех	220,0	0,40	0,80	0,75	88,0	66,0
6 Сборочный цех	480,0	0,55	0,70	1,02	264,0	269,3
7 Кузнечный цех	900,0	0,20	0,75	0,88	180,0	158,7
8 Экспериментальный цех	320,0	0,35	0,70	1,02	112,0	114,3
9 Компрессорная	80,0	0,50	0,65	1,17	40,0	46,8
10 Насосная	660,0	0,40	0,75	0,88	264,0	232,8
11 Лаборатория	300,0	0,45	0,70	1,02	135,0	137,7
12 Ремонтно-механический цех	500,0	0,30	0,60	1,33	150,0	200,0
13 Заводоуправление	120,0	0,40	0,70	1,02	48,0	49,0
Территория завода	0	–	–	–	0	0
Итого по 0,38 кВ	6037,0	–	–	–	1924,6	1956,5
Потребители электроэнергии выше 1000 В						
9 Компрессорная	1200,0	0,50	1,00	0	600,0	0,0
Итого по 10 кВ	1200,0	–	–	–	600,0	0,0

Таблица 2.3 – Результаты расчета производственных нагрузок предприятия

Наименование цеха	Осветительная нагрузка										Суммарная нагрузка		
	Е, лк	F, м ²	П, м	h, м	i	ρ ₀ , Вт/м ²	P _{но} , кВт	K _{со}	P _{ро} , кВт	Q _{ро} , кВАр	P _р +P _{ро} , кВт	Q _р +Q _{ро} , кВт	S _р , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Потребители электроэнергии до 1000 В													
1 Литейный цех	200	5200	340	6,0	5,10	5	26,0	0,95	24,7	8,1	244,7	202,1	317,4
2 Механический цех	400	7200	396	4,5	–	–	53,8	0,95	51,1	16,8	126,7	116,4	172,1
3 Инструментальный цех	500	7200	396	4,5	8,08	10	72,0	0,95	68,4	22,5	248,4	262,5	361,4
4 Штамповочный цех	200	7200	396	4,0	9,09	5	36,0	0,95	34,2	11,2	202,2	159,4	257,5
5 Деревообрабатывающий цех	500	6032	336	3,5	10,26	10	60,3	0,95	57,3	18,8	145,3	84,8	168,3
6 Сборочный цех	750	16000	560	12,0	4,76	15	240,0	0,95	228,0	74,9	492,0	344,3	600,5
7 Кузнечный цех	300	6800	336	6,0	6,75	6	40,8	0,95	38,8	12,7	218,8	171,5	278,0
8 Экспериментальный цех	400	3500	240	10,0	2,92	8	28,0	0,95	26,6	8,7	138,6	123,0	185,3
9 Компрессорная	150	3780	248	3,2	9,53	4	15,1	0,95	14,4	4,7	54,4	51,5	74,9
10 Насосная	150	6032	336	4,0	8,98	4	24,1	0,95	22,9	7,5	286,9	240,4	374,3
11 Лаборатория	500	6032	336	3,8	9,45	10	60,3	0,80	48,3	15,9	183,3	153,6	239,1
12 Ремонтно-механический цех	400	3500	240	5,0	5,83	8	28,0	0,95	26,6	8,7	176,6	208,7	273,4
13 Заводоуправление	750	4400	288	3,2	9,55	15	66,0	0,90	59,4	19,5	107,4	68,5	127,4
Территория завода	–	322628	–	–	–	0,05	16,1	1	16,1	5,3	16,1	5,3	17,0
Итого по 0,38 кВ	–	ΣF _{п.п.} =82876		–	–	–	766,6	–	716,7	235,6	2641,4	2192,0	3432,5
Потребители электроэнергии выше 1000 В													
9 Компрессорная	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	600,0	0,0	600,0
Итого по 10 кВ	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	600,0	0,0	600,0

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

$$S_p^H = \sqrt{\left(\sum P_p^H + \sum P_{p.o}\right)^2 + \left(\sum Q_p^H + \sum Q_{p.o}\right)^2} = \\ = \sqrt{(1924,6 + 716,7)^2 + (1956,5 + 235,6)^2} = 3432,5 \text{ кВА.}$$

На данном этапе расчета еще не выбраны марки трансформаторов и сечения проводников распределительных сетей, поэтому, точное определение потерь невозможно. Приблизительно потери мощности в цеховых трансформаторах и питающих проводниках [10, стр. 32]

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 3432,5 = 68,6 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 3432,5 = 343,2 \text{ кВАр},$$

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 3432,5 = 103,0 \text{ кВт},$$

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

ΔQ_T – потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах, кВАр;

ΔP_L – потери активной мощности в линиях, кВт.

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

$$P_{p\Sigma} = \left(\sum P_p^H + \sum P_p^B\right) \cdot K_{p.m} + P_{p.o} + \Delta P_T + \Delta P_L = \\ = (1924,6 + 600,0) \cdot 0,95 + 716,7 + 68,6 + 103,0 = 3286,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{p\Sigma} = \left(\sum Q_p^H + \sum Q_p^B\right) \cdot K_{p.m} + Q_{p.o} + \Delta Q_T = \\ = (1956,5 + 0) \cdot 0,95 + 235,6 + 343,2 = 2437,5 \text{ кВАр},$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{3286,8^2 + 2437,5^2} = 4092,0 \text{ кВА.}$$

где $K_{p.m}$ – коэффициент разновременности максимумов нагрузки [10, стр. 35].

Приблизительные потери мощности в трансформаторах ГПП

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 4092,0 = 81,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{T.ГПП} = 0,10 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 4092,0 = 409,2 \text{ кВАр},$$

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

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

Расчётная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{т.ГПП})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{т.ГПП})^2} = \\ &= \sqrt{(3286,8 + 81,8)^2 + (2437,5 + 409,2)^2} = \\ &= \sqrt{3368,6^2 + 2846,7^2} = 4410,3 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Трансформаторы главной понизительной подстанции, передают в сети предприятия мощность, полностью обеспечивающую его нагрузки, но энергосистема ограничивает величину реактивной мощности, передаваемой на предприятие, введя того, что предприятие само может генерировать реактивную мощность и не должно снижать коэффициент мощности энергосистемы. Для генерация реактивной мощности на предприятии устанавливают устройства компенсации реактивной мощности. Чтобы на данном этапе приблизительно учесть компенсацию реактивной мощности необходимо определиться с уровнем напряжения питающих линий.

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

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

$$U_{эк} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{32,0} + \frac{2500}{3,369}}} = 36,3 \text{ кВ},$$

где L – длина питающей линии, км;

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

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

Количество реактивной мощности, которое энергосистема может дать предприятию, не нарушая собственного режима работы

$$Q_c = \alpha \cdot P_p = 0,24 \cdot 3368,6 = 808,5 \text{ кВАр},$$

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

Приблизительное значение мощности компенсирующих устройств

$$Q_{ky} = Q_p - Q_c = 2846,7 - 808,5 = 2038,2 \text{ кВАр}.$$

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

$$\begin{aligned} S_{p, ГПП} &= \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{ky})^2} = \sqrt{3386,6^2 + (2846,7 - 2038,2)^2} = \\ &= \sqrt{3386,6^2 + 808,5^2} = 3464,3 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

Для дальнейшего расчета необходимо знать число часов использования максимальной нагрузки, а также коэффициенты минимальной нагрузки по активной и реактивной мощности. Данные параметры определяются по графику электрической нагрузки предприятия.

На этапе определения нагрузки промышленного предприятия, известны только расчетные мощности производственных помещений из которой получается расчетная мощность предприятия, величины электрических нагрузок в разные моменты времени, в течении суток неизвестны. Исходя из предположения, что режим работы предприятий одной отрасли промышленности, имеющих схожий технологический процесс, одинаковый, позволяет рассчитать примерный график электрических нагрузок для проектируемого предприятия по известным типовым суточным графикам, рисунок 2.1.

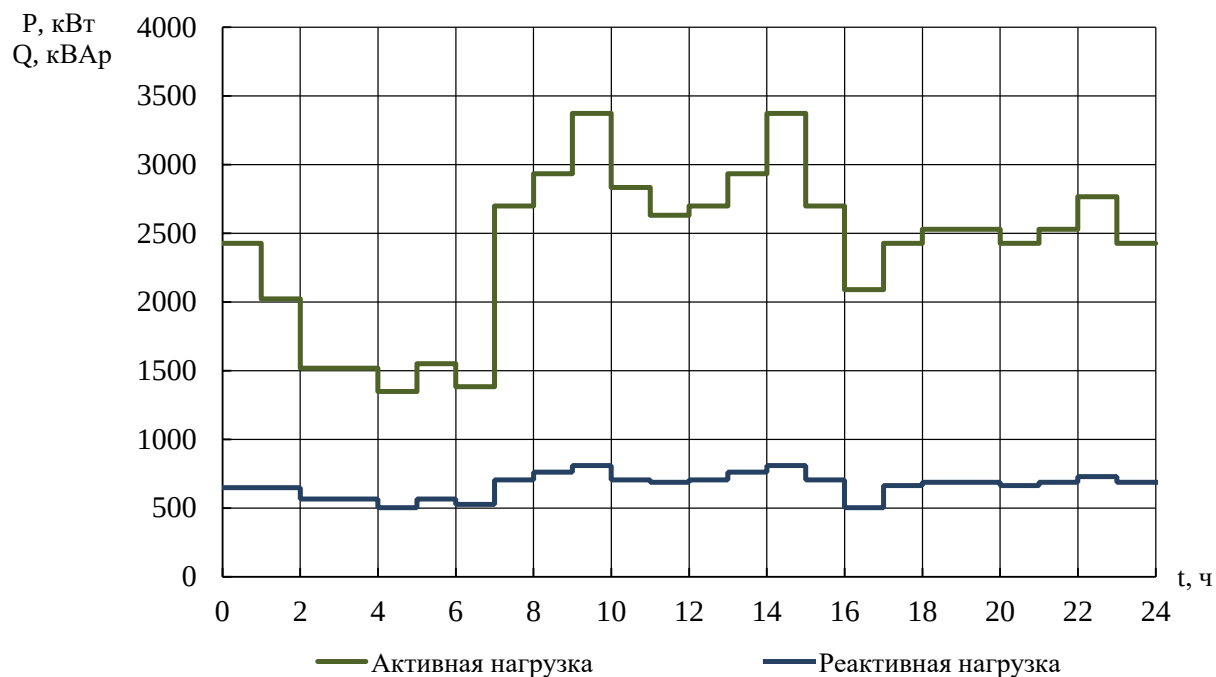


Рисунок 2.1 – Суточный график нагрузок предприятия

По суточному графику нагрузки определяются коэффициенты минимальной нагрузки, при этом для реактивной мощности часы минимума должны соответствовать часам минимума активной мощности

$$K_{\min} = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \frac{1347,4}{3368,6} = 0,400, \quad K_{\min} = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} = \frac{501,3}{808,5} = 0,620.$$

Для определения числа часов использования максимальной нагрузки суточный график активной нагрузки необходимо перестроить в годовой график нагрузки по продолжительности, рисунок 2.2.

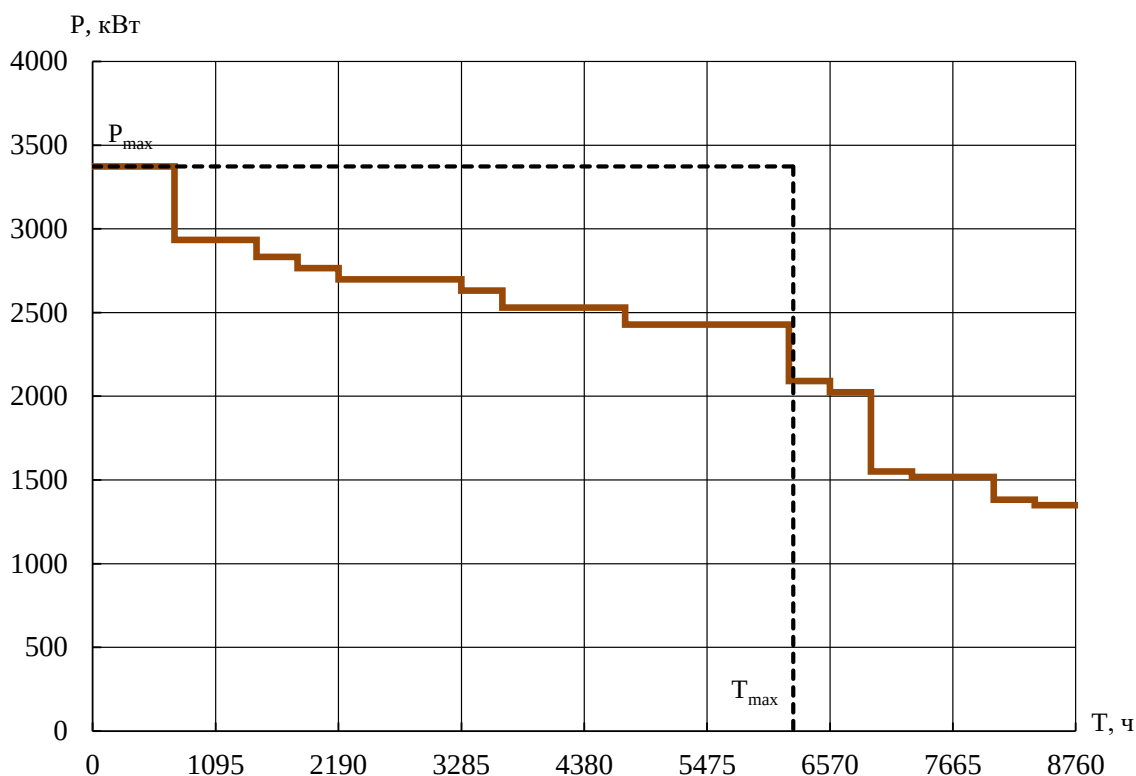


Рисунок 2.2 – Годовой график нагрузки по продолжительности

Площадь, ограниченная кривой годового графика активной нагрузки, численно равна энергии, потребленной электроустановкой за год

$$W_{\text{год}} = 21025230,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Число часов использования максимальной нагрузки – время, в течении которого через электрическую сеть, работающую с максимальной нагрузкой, передавалось бы такое же количество электроэнергии, которое передается через нее в течение года по действительному графику нагрузки

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\text{max}}} = \frac{21025230,1}{3368,6} = 6241,5 \text{ ч}.$$

Таким образом, в данном подразделе была предварительно определена полная расчетная мощность главной понизительной подстанции с учетом нагрузки освещения производственных помещений и территории предприятия, а также с учетом потерь мощности в трансформаторах распределительной сети, потерь мощности в линиях распределительной сети,

потерь мощности в трансформаторах главной понизительной подстанции, и с учётом компенсации реактивной мощности.

Также был установлен уровень напряжения линии, питающей главную понизительную подстанцию, построены графики нагрузки, по которым были определены коэффициенты минимальной нагрузки по активной и реактивной мощности, а также число часов использования максимальной нагрузки.

2.3 Картограмма электрических нагрузок

Место размещения главной понизительной подстанции предприятия во многом определяет технико-экономические показатели всей сети электроснабжения. Прежде всего это затраты на сооружения самой подстанции, сложность ее строительства в стесненных условиях и эксплуатационные затраты, во-вторых, это место начала всех силовых линий электроснабжения предприятия, от протяженности которых зависят как затраты на строительство распределительной сети, так и потери мощности в сетях.

С технической точки зрения, ГПП должна быть расположена в центре электрических нагрузок (ЦЭН) для снижения эксплуатационных потерь распределительной сети. При невозможности установки ГПП в ЦЭН, рассматриваются варианты установки ГПП в пределах зоны рассеяния ЦЭН. Варианты с установкой ГПП за пределами зоны рассеяния ЦЭН не рассматриваются.

Картограмма электрических 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 местом для размещения источника питания.

В реальных условиях, учитывая наличие дорог, зданий и естественных препятствий ГПП может быть сдвинута в сторону питающей линии. Чем дальше ГПП удалена от ЦЭН, тем ниже будет энергетическая эффективность проектируемой сети. Существующая теория позволяет определить границы области, вокруг ЦЭН, внутри которой, дополнительные потери энергии, вызванные изменением положения ГПП относительно ЦЭН считаются допустимыми, эта область называется «зоной рассеяния». Зона рассеяния представляется в виде эллипса с центром в ЦЭН.

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 метрах 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).

Расчёт картограммы нагрузок сведен в таблицу 2.4.

Пример расчета (Литейный цех)

$$S_p = 317,4 \text{ кВА}, \quad S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{24,7^2 + 8,1^2} = 26,0 \text{ кВА},$$

$$x = 300,0 \text{ м}, \quad y = 67,3 \text{ м},$$

Радиус окружности для силовой нагрузки корпуса

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{317,4}{\pi \cdot 0,1}} = 31,8 \text{ м},$$

где S_p – расчетная полная мощность цеха, кВА;

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

Таблица 2.4 – Расчетные данные для построения картограммы нагрузок

Наименование цеха	S_{pi} , кВА	$S_{p.o.i}$, кВА	r , м	α , град	x_i , м	y_i , м	$S_{pi} \cdot x_i$, кВА·м	$S_{pi} \cdot y_i$, кВА·м	$\frac{S_{pi}}{\sum_{i=1}^n S_{pi}}$	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	317,4	26,0	31,8	29,5	300,0	67,3	95218,1	21360,6	0,079	602,418	3062,400
2 Механический цех	172,1	53,8	23,4	112,5	527,6	140,3	90809,0	24148,0	0,043	838,964	658,654
3 Инструментальный цех	361,4	72,0	33,9	71,7	527,6	92,3	190666,9	33355,9	0,090	1761,530	2658,716
4 Штамповочный цех	257,5	36,0	28,6	50,3	527,6	188,6	135844,6	48560,1	0,064	1255,039	367,882
5 Деревообрабатывающий цех	168,3	60,3	23,1	129,1	227,1	373,8	38211,0	62894,2	0,042	1073,684	499,052
6 Сборочный цех	600,5	240,0	43,7	143,9	517,9	387,8	310993,9	232870,1	0,149	2535,864	2266,447
7 Кузнечный цех	278,0	40,8	29,7	52,8	330,9	254,2	91977,7	70658,0	0,069	220,621	7,286
8 Экспериментальный цех	185,3	28,0	24,3	54,4	112,6	179,6	20866,1	33282,0	0,046	3474,198	331,309
9 Компрессорная	74,9	15,1	15,4	72,7	245,2	268,2	18359,4	20081,5	0,167	3389,199	2,321
10 Насосная	374,3	24,1	34,5	23,2	710,0	296,6	265749,7	111016,0	0,093	9663,889	95,851
11 Лаборатория	239,1	50,8	27,6	76,5	227,1	454,9	54301,2	108769,8	0,059	1525,799	2151,705
12 Ремонтно-механический цех	273,4	28,0	29,5	36,9	112,6	268,2	30787,6	73332,6	0,068	5126,135	0,941
13 Заводоуправление	127,4	62,5	20,1	176,7	552,1	506,0	70327,5	64455,2	0,032	856,973	1844,064
Потребители электроэнергии выше 1000 В											
9 Компрессорная	600,0	–	43,7	–	245,2	268,2	147120,0	160920,0	–	–	–
Итого	4029,5	–	–	–	–	–	1561232,8	1065704,0	–	32324,3	13946,6

Угол сектора нагрузки освещения корпуса

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot S_{p.o}}{S_p} = \frac{360^\circ \cdot 26,0}{317,4} = 29,5 \text{ град.}$$

Тогда

$$S_p \cdot x = 317,4 \cdot 300,0 = 95218,1 \text{ кВА} \cdot \text{м},$$

$$S_p \cdot y = 317,4 \cdot 67,3 = 21360,6 \text{ кВА} \cdot \text{м}.$$

Координаты центра электрических нагрузок предприятия

$$x_0 = \frac{\sum(S_{p.i} \cdot x_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{156232,8}{4029,5} = 387,5 \text{ м},$$

$$y_0 = \frac{\sum(S_{p.i} \cdot y_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{1065704,0}{4029,5} = 264,5 \text{ м}.$$

Определение зоны рассеяния центра электрических нагрузок начинается с определения закона распределения координат ЦЭН. В существующей инженерной практики, для подобных величин используется закон нормального распределения (закон Гауса-Лапласа).

$$S_x = S_y = \frac{S_p}{\sum_{i=1}^n S_{pi}} = \frac{317,4}{4029,5} = 0,079,$$

$$\sigma_x^2 = S_x \cdot (x - x_0)^2 = 0,079 \cdot (300,0 - 387,5)^2 = 602,418,$$

$$\sigma_y^2 = S_y \cdot (y - y_0)^2 = 0,079 \cdot (67,3 - 264,5)^2 = 3062,400.$$

Параметры нормального закона распределения

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n S_{xi} \cdot (x_i - x_0)^2 = 32324,3, \quad \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n S_{yi} \cdot (y_i - y_0)^2 = 13946,6,$$

$$h_x = \frac{1}{\sqrt{\sigma_x} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{32324,3} \cdot \sqrt{2}} = 0,0039,$$

$$h_y = \frac{1}{\sqrt{\sigma_y} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{13946,6} \cdot \sqrt{2}} = 0,0060.$$

Зона рассеяния центра электрических нагрузок, представляет собой эллипс, как сечение поверхности нормального распределения, полуоси которого равны

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0039} = 440,4 \text{ м}, \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0060} = 289,3 \text{ м}.$$

Для построения зоны рассеяния ЦЭН промышленного объекта, осуществляется параллельный перенос осей координат, так, чтобы начало новой системы совпадало с координатами ЦЭН.

На основании расчётных значений R_x и R_y на плане объекта электроснабжения строится эллипс рассеяния координат. В результате, появляется отдельная зона, в пределах которой допустимо разместить ГПП, при отсутствии возможности ее размещения, непосредственно в ЦЭН.

Картограмма нагрузок приведена на рисунке 2.3.

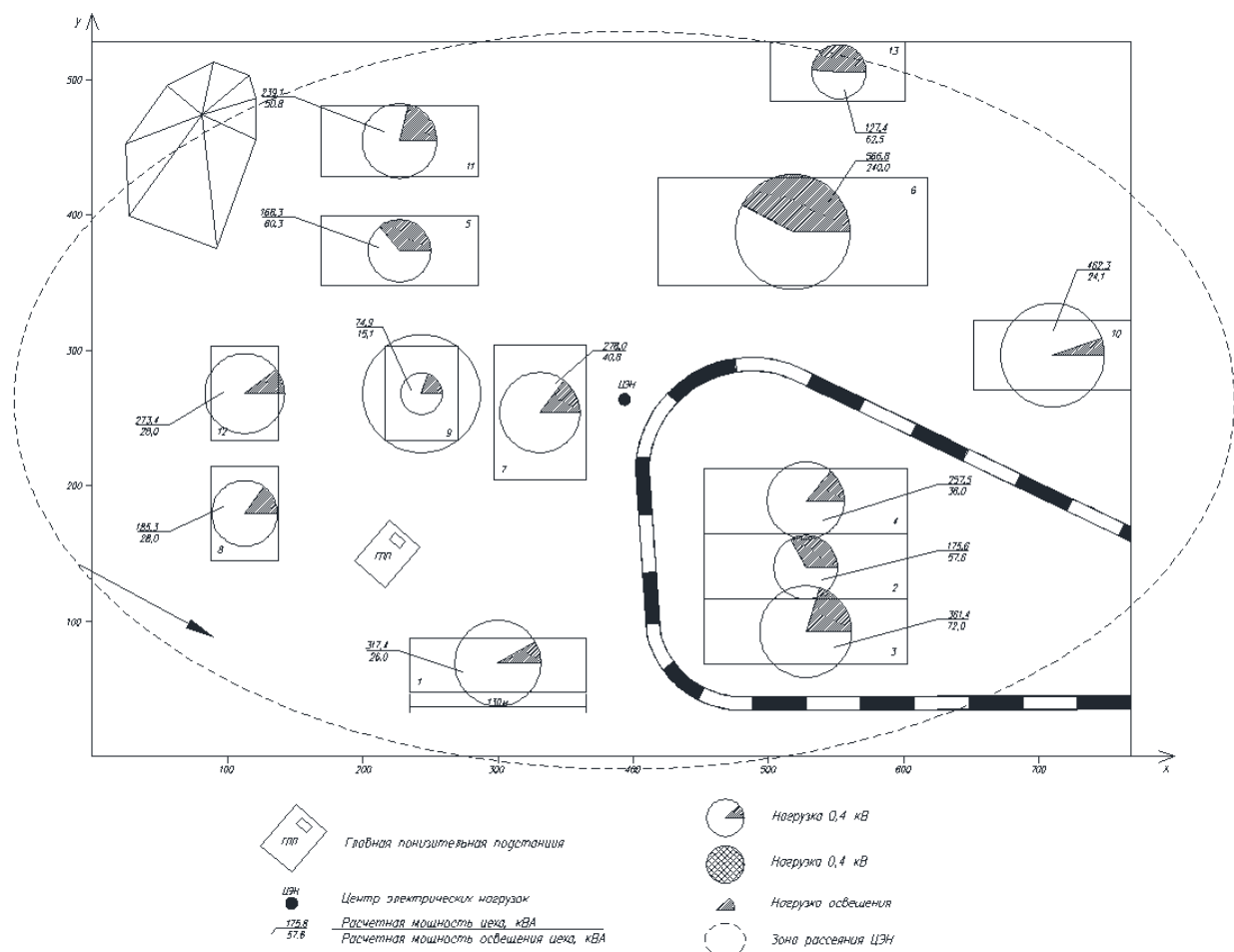


Рисунок 2.3 – Картограмма нагрузок

Так как ЦЭН попал в зону расположения цехов, где недостаточно места для расположения главной понизительной подстанции, то расположение ГПП смещается в сторону питающей предприятие линии.

2.4 Распределение источников питания по территории предприятия

Основным критерием размещения распределительных трансформаторных подстанций является максимальное приближение подстанции к нагрузкам 0,4 кВ. Цеховые трансформаторные подстанции должны быть установлены в центрах своих электрических нагрузок.

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

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

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

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

$$\sigma = \frac{S_p^H}{\sum F_{п.п.}} = \frac{3432,5}{82876,0} = 0,041 \text{ кВА/м}^2,$$

принимаем $S_{ном.т} = 400 \text{ кВА}$.

Минимальное число цеховых трансформаторов

$$N_{т.0} = \frac{\sum (P_p^H + P_{п.о})}{\beta_T \cdot S_{ном.т}} = \frac{2641,4}{0,7 \cdot 400} = 9,43 \text{ шт},$$

принимаем $N_T = 10 \text{ шт}$.

Активная нагрузка на один трансформатор

$$P_1 = \frac{\sum (P_p^H + P_{п.о})}{N_T} = \frac{2641,4}{10} = 264,1 \text{ кВт}.$$

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

$$N_{т.і} = \frac{P_{р.і}}{P_1} = \frac{244,7}{264,1} = 0,926 \text{ шт.}$$

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

Результаты расчетов располагаются в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Число трансформаторов в цехах предприятия

Наименования цехов	Категория	$P_{р.і}$, кВт	Количество тр-ов N_i , шт
1 Литейный цех	II	244,7	0,926
2 Механический цех	III	126,7	0,480
3 Инструментальный цех	III	248,4	0,940
4 Штамповочный цех	II	202,2	0,766
5 Деревообрабатывающий цех	III	145,3	0,550
6 Сборочный цех	II	492,0	1,863
7 Кузнечный цех	II	218,8	0,828
8 Экспериментальный цех	II	138,6	0,525
9 Компрессорная	II	54,4	0,206
10 Насосная	III	286,9	1,086
11 Лаборатория	III	183,3	0,694
12 Ремонтно-механический цех	III	176,6	0,669
13 Заводоуправление	III	107,4	0,407

Параметры принятых трансформаторов приведены в таблице 2.6.

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

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

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

Пример расчета коэффициента загрузки по активной мощности для ТП1

$$\beta_{\text{т.расч}} = \frac{P_{\text{р.ТП1}}}{N_{\text{т.ТП1}} \cdot S_{\text{ном.т}}} = \frac{493,1}{2 \cdot 400} = 0,616 < \beta_{\text{т}} = 0,7,$$

коэффициент загрузки по активной мощности соответствует норме для двухтрансформаторной подстанции.

Пример расчета коэффициента загрузки по полной мощности для ТП1

$$\beta_{\text{т.расч}} = \frac{S_{\text{р.ТП1}}}{N_{\text{т.ТП1}} \cdot S_{\text{ном.т}}} = \frac{678,8}{2 \cdot 400} = 0,848 > \beta_{\text{т}} = 0,7,$$

коэффициент загрузки по полной мощности не соответствует норме для двухтрансформаторной подстанции.

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

Таблица 2.7 – Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

№ ТП	N _т , шт	S _{ном.т} , кВА	Потребители энергии (номер по генплану)	Место расположения на генплане	P _{р.тп} , кВт	Q _{р.тп} , кВАр	S _{р.тп} , кВА	Загрузка тр-ров по активной мощности	Загрузка тр-ров по полной мощности
ТП1	2	400	1, 3	Территория	493,1	464,6	678,8	0,616	0,848
ТП2	1	400	11, 13	Территория	290,7	222,1	366,5	0,727	0,916
ТП3	2	400	6	Цех №6	492,0	344,3	600,5	0,615	0,751
ТП4	1	400	10	Цех №10	286,9	240,4	374,3	0,717	0,936
ТП5	2	400	5, 8, 9, 12	Территория	514,9	468,1	701,9	0,644	0,877
ТП6	2	400	2, 4, 7	Цех №4	547,7	447,3	707,6	0,685	0,884

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

В качестве компенсирующего устройства 0,4 кВ, на промышленных предприятиях используют источники компенсации реактивной мощности с автоматическим регулированием мощности. Источники реактивной мощности представляют собой шкаф металлический, с размещенными в нем конденсаторными батареями, коммутационными аппаратами и устройствами

автоматики для отслеживания коэффициента мощности сети и своевременного переключения ступени мощности.

Пример расчета для ТП1.

Требуемое значение коэффициента мощности

$$\cos\varphi_{\text{треб}} = 0,80, \quad \text{tg}\varphi_{\text{треб}} = 0,75.$$

Начальный коэффициент мощности ТП1

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = \frac{Q_{\text{ТП1}}}{P_{\text{ТП1}}} = \frac{464,6}{493,1} = 0,94.$$

Расчетная мощность конденсаторных установок

$$Q_{\text{КУ. расч}} = P_{\text{ТП1}} \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{факт}} - \text{tg}\varphi_{\text{треб}}) = 493,1 \cdot (0,94 - 0,75) = 94,8 \text{ кВАр}.$$

Принимаем две установки типа УКРМ 58-0,4-100 У3 [12].

Полная реактивная мощность, генерируемая УКРМ

$$Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{КУ. ном}} \cdot n_{\text{КУ}} = 100 \cdot 2 = 200,0 \text{ кВАр}.$$

Полная мощность ТП1 с учетом мощности УКРМ

$$S_{\text{р. ТП1}} = \sqrt{P_{\text{ТП1}}^2 + (Q_{\text{ТП1}} - Q_{\text{КУ}})^2} = \sqrt{493,1^2 + (464,6 - 200,0)^2} = 559,6 \text{ кВА}.$$

Коэффициент загрузки ТП1 с учетом компенсации реактивной мощности

$$\beta_{\text{з. ТП1}} = \frac{S_{\text{р. ТП1}}}{N_{\text{Т. ТП1}} \cdot S_{\text{ном. т}}} = \frac{559,6}{2 \cdot 400} = 0,700,$$

коэффициент загрузки соответствует норме.

Результирующий коэффициент мощности ТП1

$$\text{tg}\varphi_{\text{рез}} = \frac{Q_{\text{ТП1}} - Q_{\text{КУ}}}{P_{\text{ТП1}}} = \frac{464,6 - 200,0}{493,1} = 0,54, \quad \cos\varphi_{\text{рез}} = 0,88,$$

коэффициент мощности соответствует норме.

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Расчет компенсации реактивной мощности

№ ТП	Начальные параметры						Результирующие параметры					
	N _т , шт	P _{р. ТП} , кВт	Q _{р. ТП} , кВАр	cosφ _{треб}	tgφ _{треб}	tgφ _{факт}	Q _{КУ. расч} , кВАр	Q _{КУ. ном} , кВАр	n _{ку} , шт	S _{ТП} , кВА	K _з	cosφ _{рез}

ТП1	2	493,1	464,6	0,80	0,75	0,94	94,8	100,0	2	559,6	0,700	0,88
ТП2	1	290,7	222,1	0,80	0,75	0,76	4,1	10,0	1	359,8	0,900	0,81
ТП3	2	492,0	344,3	0,85	0,62	0,70	39,4	40,0	2	558,5	0,698	0,88
ТП4	1	286,9	240,4	0,85	0,62	0,84	62,5	75,0	1	331,2	0,828	0,87
ТП5	2	514,9	468,1	0,80	0,75	0,91	81,9	125,0	2	559,1	0,699	0,92
ТП6	2	547,7	447,3	0,85	0,62	0,82	107,9	175,0	2	556,3	0,695	0,98

Составление баланса реактивной мощности.

Энергосистема устанавливает экономически обоснованное количество реактивной мощности, которое целесообразно передавать в сети предприятия. Превышение допустимых реактивных нагрузок предприятия снизит коэффициент мощности в энергосистеме, что может отразиться на работе других потребителей.

В обязательном порядке предусматривается установка компенсирующих устройств на стороне 6-10 кВ. Мощность высоковольтного устройства компенсации реактивной мощности будет зависеть от мощности уже установленных компенсирующих устройств на стороне 0,4 кВ. В качестве источников реактивной мощности могут быть использованы как специально установленные косинусные конденсаторы, так и синхронные двигатели участвующие в технологическом процессе.

Стоимость эксплуатации высоковольтных компенсирующих устройств ниже, чем низковольтных. Установка высоковольтных компенсирующих устройств разгружает от реактивных токов энергосистему, при этом по проводникам распределительной сети предприятия продолжают протекать как активные, так и реактивные токи. Основным достоинством низковольтной компенсации вблизи конечного электроприемника является разгрузка всей сети предприятия от реактивного тока данного электроприемника.

Схема распределения реактивной мощности приведена на рисунке 2.4.

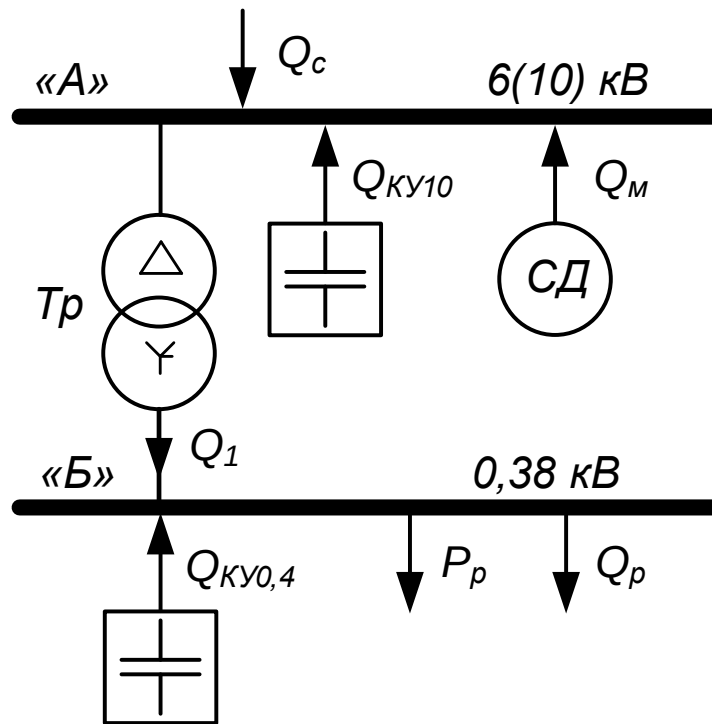


Рисунок 2.4 – Схема распределения реактивной мощности

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

- номинальная напряжение двигателя $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$;
- номинальная активная мощность $P_{сд} = 630 \text{ кВт}$;
- номинальная реактивная мощность $Q_{сд} = 320 \text{ кВАр}$;
- КПД $\eta = 95,53 \%$;
- число двигателей $n_{сд} = 2$.

Коэффициент загрузки синхронных двигателей по активной мощности

$$\beta_{сд} = \frac{P_{синх}}{P_{сд} \cdot n_{сд}} = \frac{1200}{630 \cdot 2} = 0,95,$$

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

Напряжение на зажимах синхронного двигателя

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

Суммарная располагаемая реактивная мощность двигателей

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

где α_m – наибольшая допустимая перегрузка двигателя по реактивной мощности [11, стр. 173, табл. П7.5.].

Мощные индуктивные нагрузки оказывают сильное размагничивающее действие на магнитную систему трансформаторов и их рабочие характеристики значительно ухудшаются. Таким образом, цеховые трансформаторы ограничены в количестве реактивной мощности, которую способны пропустить с высокой стороны на низкую сторону. Расширить рабочий диапазон нагрузок трансформаторов можно установкой компенсирующих устройств со стороны низшего напряжения. Емкостная нагрузка оказывает на магнитную систему трансформаторов намагничивающее действие.

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

$$Q_1 = \sqrt{(N_T \cdot \beta \cdot S_{ном.Т})^2 - \left(\sum (P_p^H + P_{p.o}) \right)^2} = \\ = \sqrt{(10 \cdot 0,7 \cdot 400)^2 - 2641,4^2} = 929,0 \text{ кВАр}.$$

Расчётная мощность конденсаторных установок в узле "А"

$$Q_{КУ. \text{ расч}} = Q_1 - Q_c - Q_m = 929,0 - 808,5 - 824,0 = -703,5 \text{ кВАр}.$$

Компенсация в узле "А" не требуется

$$Q_{КУ}^{\text{"А"}} = 0 \text{ кВАр}.$$

Требуемая мощность конденсаторных установок в узле "Б"

$$Q_{КУ. \text{ треб}} = \sum (Q_p^H + Q_{p.o}) - Q_1 = 2192,0 - 965,0 = 298,0 \text{ кВАр}.$$

Суммарная мощность компенсирующих устройств по таблице 2.7

$$Q_{КУ}^{\text{"Б"}} = \sum (Q_{КУ.ном} \cdot n_{КУ}) = 965,0 \text{ кВАр}.$$

Расчетная мощность конденсаторных установок в узле "Б" с учетом ранее выбранных УКРМ для уменьшения загрузки трансформаторов по полной мощности

$$Q_{\text{КУ. расч}} = Q_{\text{треб}} - Q_{\text{КУ.}\Sigma}^{\text{Б}} = 1263,0 - 965,0 = 298,0 \text{ кВАр.}$$

Принимаем к установке в узле "Б" комплектные конденсаторные установки типа УКРМ 58-0,4-150 УЗ [12].

Реактивная мощность, генерируемая одной комплектной конденсаторной установкой

$$Q = \left(\frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном.ку}}} \right)^2 \cdot Q_{\text{ном.ку}} = \left(\frac{0,40}{0,40} \right)^2 \cdot 150 = 150 \text{ кВАр.}$$

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

$$n_{\text{КУ.расч}} = \frac{Q_{\text{КУ. расч}}}{Q} = \frac{298,0}{150} = 2,0 \text{ шт,}$$

принимаем $n_{\text{ку}} = 2$ шт.

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

$$Q_{\text{КУ}}^{\text{"Б"}} = Q \cdot n_{\text{КУ}} + Q_{\text{КУ.}\Sigma}^{\text{Б}} = 150 \cdot 2 + 965,0 = 1265,0 \text{ кВАр.}$$

Суммарная генерируемая мощность компенсирующих устройств

$$Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{КУ}}^{\text{"А"}} + Q_{\text{КУ}}^{\text{"Б"}} = 824,0 + 0 + 1265,0 = 2089,0 \text{ кВАр.}$$

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

$$\begin{aligned} S_{\text{р.ГПП}} &= \sqrt{P_{\text{р}}^2 + (Q_{\text{р}} - Q_{\text{КУ}})^2} = \sqrt{3368,8^2 + (2846,7 - 2089,0)^2} = \\ &= \sqrt{3368,6^2 + 757,6^2} = 3452,8 \text{ кВА.} \end{aligned}$$

На рисунке 2.5 приведен план предприятия с предварительным размещением трансформаторных подстанций, ГПП, РП, РУВН и трасс линий электропередачи.

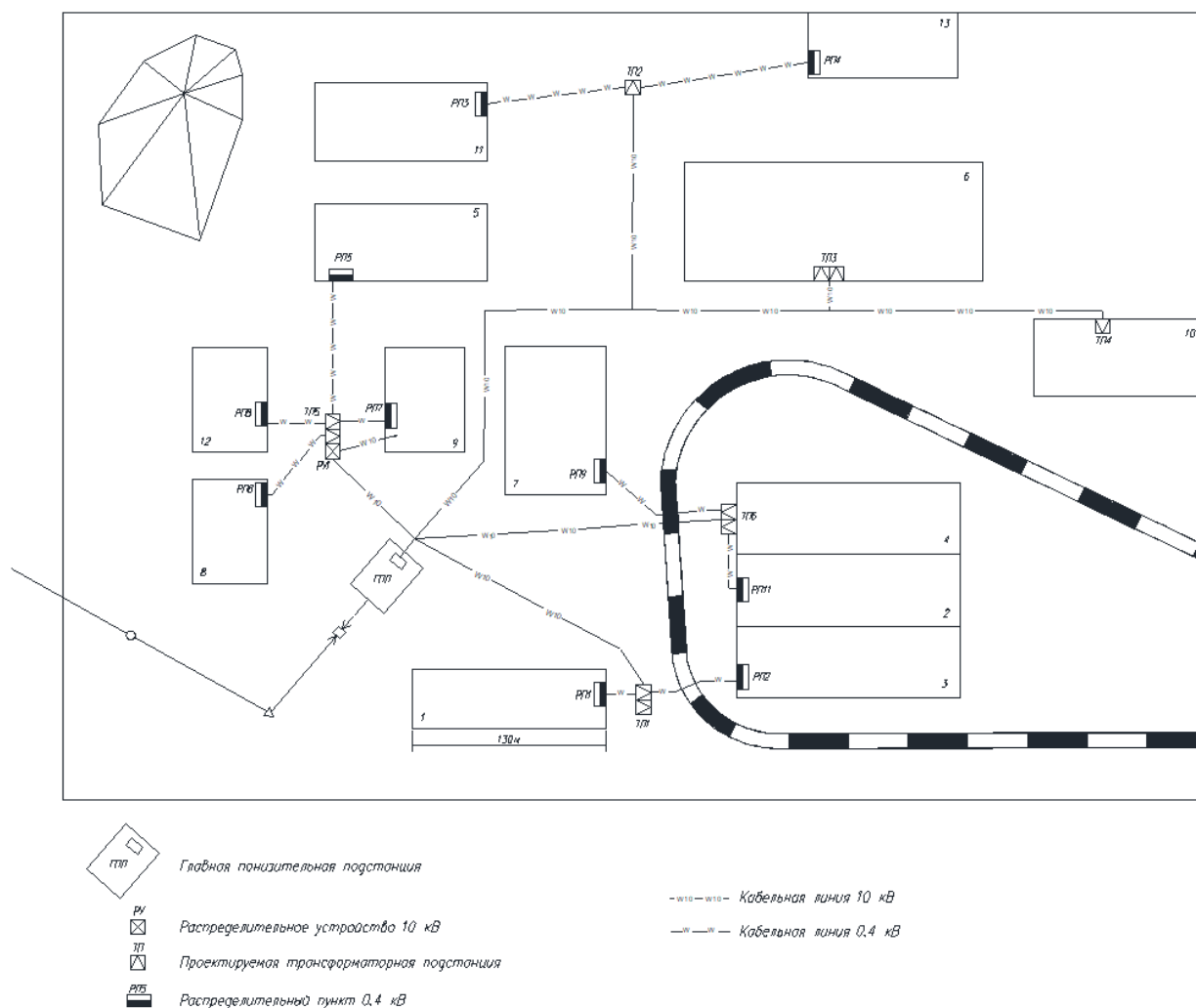


Рисунок 2.5 – План предприятия с предварительным расположением объектов электроснабжения

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

2.5 Разработка линий электроснабжения выше 1000 В по территории предприятия

Планирование трасс линий электроснабжения объектов промышленного предприятия ведется параллельно с выбором способа канализации электрической энергии. Выбранный способ должен обеспечивать не только удобство прокладки трасс электроснабжения, но и обеспечивать удобство подключения потребителей. Наиболее распространёнными способами канализации являются применение воздушных либо кабельных линий электропередачи.

Распределение электрической энергии по территории с помощью воздушных линий электропередач является экономически обоснованным, но не находит широкого применения ввиду высокой плотности застройки территории промышленных предприятий. Несмотря на сравнительно низкую стоимость строительства, возможностью монтажа изолированным проводом, удобства осмотра, поиска неисправностей и ремонта, проектировщикам приходится отказываться от воздушных линий в пользу кабельных.

Кабельные линии электропередач являются основным способом канализации электрической энергии на современном промышленном предприятии. Кабельные линии экономят самый важный ресурс на предприятиях, это территория, они не создают помех другим инженерным сооружениям, могут быть проложены в любых плоскостях и окружающих средах.

Распределительная сеть выше 1000 В по территории предприятия выполняется кабельными линиями с изоляцией из сшитого полиэтилена, с алюминиевыми жилами марки АПвБбШп, проложенными в траншее и коробах.

Высоковольтные приёмники запитываются от распределительных устройств. Для оперативного управления двигателями устанавливаются

посты управления в непосредственной видимости двигателей. Защита и устройство плавного пуска устанавливается в релейном щите на РУ.

Упрощенная схема питания цеховых трансформаторных подстанций приведена на рисунке 2.6.

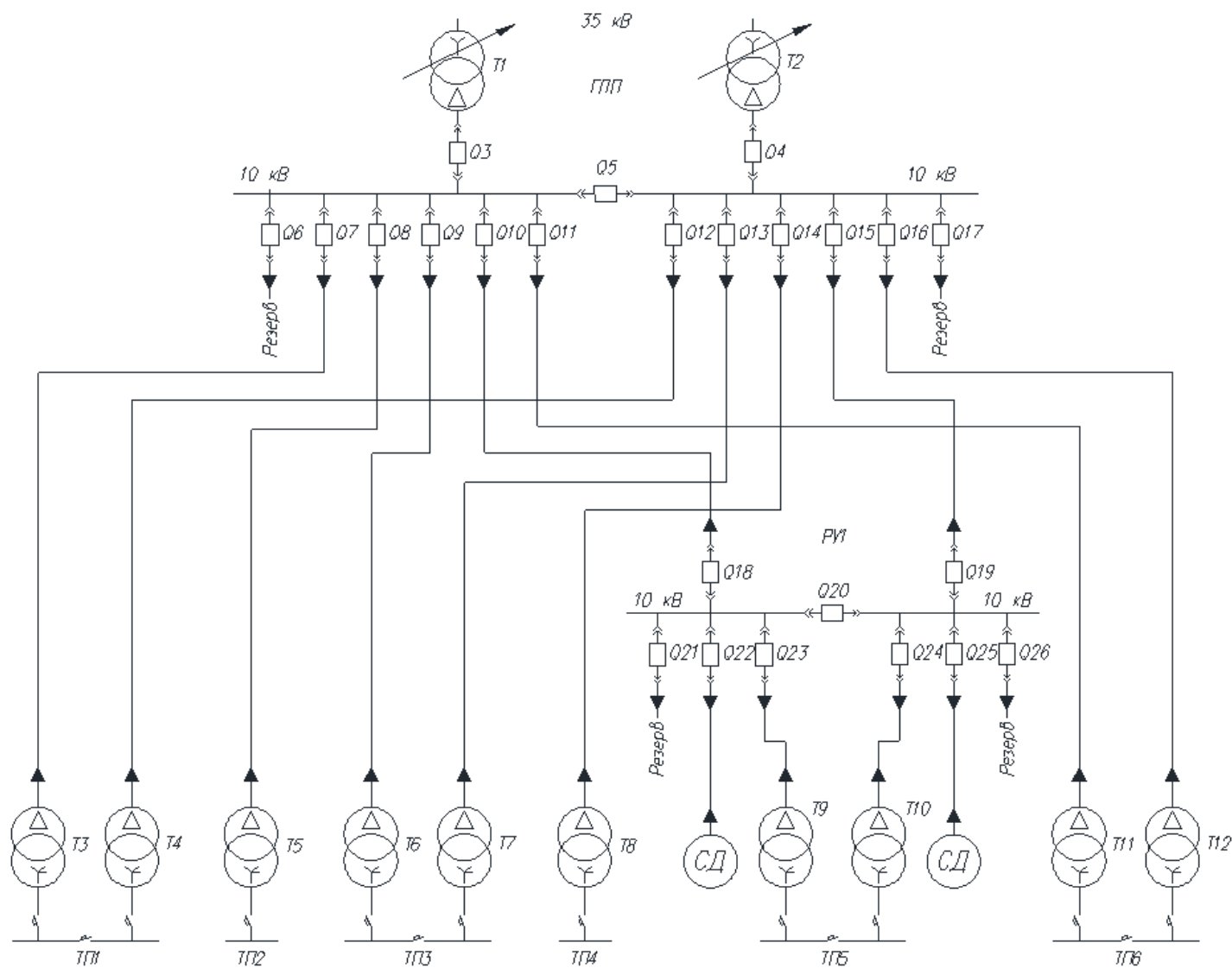


Рисунок 2.6 – Упрощенная схема питания цеховых подстанций и высоковольтных электроприёмников

Примеры расчета

Участок ГПП – ТП1

Потери мощности в трансформаторах в длительном режиме работы

$$\Delta P_T = n_T \cdot (P_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 2 \cdot (1,20 + 0,700^2 \cdot 5,5) = 7,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_{кз}) = 2 \cdot (8,40 + 0,700^2 \cdot 22,0) = 38,3 \text{ кВАр},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{7,8^2 + 38,3^2} = 39,1 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток на одну цепь в длительном режиме работы

$$I_{расч} = \frac{n_T \cdot \beta_T \cdot S_{ном.Т} + \Delta S_T}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 400 + 39,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 17,3 \text{ А}.$$

Потери мощности в трансформаторах в послеаварийном режиме работы

$$\Delta P_T = n_T \cdot (P_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 1 \cdot (1,20 + 1,399^2 \cdot 5,5) = 12,0 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_{кз}) = 1 \cdot (8,40 + 1,399^2 \cdot 22,0) = 51,5 \text{ кВАр},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{12,0^2 + 51,5^2} = 52,8 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток на одну цепь в послеаварийном режиме работы

$$I_{п.ав} = \frac{n_T \cdot \beta_T \cdot S_{ном.Т} + \Delta S_T}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1 \cdot 1,4 \cdot 400 + 52,8}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 35,4 \text{ А}.$$

Сечение проводников выше 1000 В определяется по экономической плотности тока. Экономическая плотность тока, представляет собой технико-экономическую характеристику линии электропередач. Она определяется по таблицам справочных данных, в зависимости от числа часов использования максимума электрических нагрузок предприятия T_{max} .

Минимальное экономически обоснованное сечение проводника

$$S_э = \frac{I_{расч}}{j_э} = \frac{17,3}{1,2} = 14,4 \text{ мм}^2,$$

где $j_э$ – экономическая плотность тока [16, табл. 1.3.36], А/мм².

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки АПвББШп [20] $S = 50/16 \text{ мм}^2$ с $I_{доп} = 156 \text{ А}$.

Правильное определение длины проводников линии электроснабжения требует учета всех вертикальных и горизонтальных прокладок, рельефа местности, учета длины проводника, введенного в электрооборудование, а также учета запасов длины проводника на «змейку» и на «обрезку».

Фактическая длина кабельной линии

$$L_{\text{факт}} = 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = \\ = 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + 0,201) = 0,224 \text{ км},$$

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.

Проверка по перегрузочной способности

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,90 \cdot 1,15 \cdot 156 = 161,5 \text{ А} > I_{\text{п.ав}} = 35,4 \text{ А},$$

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

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент допустимой перегрузки для проводников с изоляцией из сшитого полиэтилена.

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

$$\cos \varphi = 0,88, \quad \sin \varphi = 0,47,$$

$$\Delta U = 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left(\frac{r_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ = 3 \cdot 17,3 \cdot 0,224 \cdot \left(\frac{0,641}{2} \cdot 0,88 + \frac{0,168}{2} \cdot 0,47 \right) = 3,737 \text{ В}, \\ \Delta U_{\text{ном, \%}} = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{3,737}{10000} \cdot 100\% = 0,037\% < 5\%.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Участок ГПП – РУ1

Потери мощности в трансформаторах в длительном режиме работы

$$\Delta P_{\text{Т}} = n_{\text{Т}} \cdot (\Delta P_{\text{хх}} + \beta_{\text{Т}}^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}}) = 2 \cdot (1,20 + 0,699^2 \cdot 5,5) = 7,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{Т}} = n_{\text{Т}} \cdot (\Delta Q_{\text{хх}} + \beta_{\text{Т}}^2 \cdot \Delta Q_{\text{кз}}) = 2 \cdot (8,40 + 0,699^2 \cdot 22,0) = 38,3 \text{ кВАр},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{7,8^2 + 38,3^2} = 39,1 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток на одну цепь в длительном режиме работы

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_T \cdot \beta_T \cdot S_{\text{НОМ.Т}} + \Delta S_T + S_{\text{ВН}}}{n_{\text{Ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 400 + 39,1 + 600,0}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 34,6 \text{ А,}$$

где $S_{\text{ВН}}$ – высоковольтная нагрузка, питаемая от РУ1, кВА.

Потери мощности в трансформаторах в послеаварийном режиме работы

$$\Delta P_T = n_T \cdot (P_{\text{ХХ}} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}}) = 1 \cdot (1,20 + 1,398^2 \cdot 5,5) = 11,9 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{\text{ХХ}} + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_{\text{КЗ}}) = 1 \cdot (8,40 + 1,398^2 \cdot 22,0) = 51,4 \text{ кВАр,}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{11,9^2 + 51,4^2} = 52,8 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме работы

$$I_{\text{п.ав}} = \frac{n_T \cdot \beta_T \cdot S_{\text{НОМ.Т}} + \Delta S_T + S_{\text{ВН}}}{n_{\text{Ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1 \cdot 1,4 \cdot 400 + 52,8 + 600,0}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 70,0 \text{ А.}$$

Минимальное экономически обоснованное сечение проводника

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{34,6}{1,2} = 28,8 \text{ мм}^2.$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки АПвБбШп [20] $S = 50/16 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{доп}} = 156 \text{ А.}$

Фактическая длина кабельной линии

$$\begin{aligned} L_{\text{факт}} &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = \\ &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + 0,093) = 0,109 \text{ км.} \end{aligned}$$

Проверка по перегрузочной способности

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,90 \cdot 1,15 \cdot 156 = 161,5 \text{ А} > I_{\text{п.ав}} = 70,0 \text{ А,}$$

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

$$\cos \varphi = 0,98, \quad \sin \varphi = 0,19,$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left(\frac{r_0}{n_{\text{Ц}}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{\text{Ц}}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= 3 \cdot 34,6 \cdot 0,109 \cdot \left(\frac{0,641}{2} \cdot 0,98 + \frac{0,168}{2} \cdot 0,19 \right) = 3,744 \text{ В,} \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\text{ном, \%}} = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{3,744}{10000} \cdot 100\% = 0,037\% < 5\%.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Участок РУ1-Высоковольтный электроприёмник

Расчетный ток

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,0 \cdot 0,82} = 44,1 \text{ А},$$

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

Минимальное экономически обоснованное сечение проводника

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{44,1}{1,2} = 36,8 \text{ мм}^2.$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки АПвББШп [20] $S = 50/16 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{доп}} = 156 \text{ А}$.

Фактическая длина кабельной линии

$$\begin{aligned} L_{\text{факт}} &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = \\ &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + 0,069) = 0,084 \text{ км}. \end{aligned}$$

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

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,90 \cdot 156 = 140,4 \text{ А} > I_{\text{расч}} = 44,1.$$

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

$$\cos \varphi = 0,82, \quad \sin \varphi = 0,57,$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left(\frac{r_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= 3 \cdot 44,1 \cdot 0,084 \cdot (0,641 \cdot 0,82 + 0,168 \cdot 0,57) = 6,952 \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\text{ном, \%}} = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{6,952}{10000} \cdot 100\% = 0,069\% < 5\%.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Дальнейшие расчеты сводим в таблицы 2.9 и 2.10.

Таблица 2.9 – Выбор сечений проводников сети выше 1000 В

Участок	Мощность участка, кВА	$\Delta S_{т.дл.}$, кВА	$\Delta S_{т.ав.}$, кВА	$U_{ном.}$, кВ	$L_{факт.}$, км	$n_{ц.}$, шт	$I_{расч.}$, А	$I_{расч.ав.}$, А	$S_{э.}$, мм ²	Марка и сечение	$K_{пр}$	$K_{пер}$	$I'_{доп.}$, А
ГПП–ТП1	800,0	39,1	52,6	10,0	0,224	2	17,3	35,4	14,4	АПвБ6Шп-3 × 50/16	0,90	1,15	161,5
ГПП–ТП2	400,0	26,8	–	10,0	0,468	1	23,5	–	19,6	АПвБ6Шп - 3 × 50/16	0,78	–	121,7
ГПП–ТП3	800,0	39,0	52,7	10,0	0,475	2	17,3	35,4	14,4	АПвБ6Шп - 3 × 50/16	0,78	1,15	139,9
ГПП–ТП4	400,0	24,0	–	10,0	0,655	1	23,3	–	19,4	АПвБ6Шп - 3 × 50/16	0,90	–	140,4
РУ1–ТП5	800,0	39,1	52,8	10,0	0,042	2	17,3	35,4	14,4	АПвБ6Шп - 3 × 50/16	0,90	1,15	161,5
ГПП–ТП6	800,0	38,8	52,3	10,0	0,246	2	17,3	35,4	14,4	АПвБ6Шп - 3 × 50/16	0,90	1,15	161,5
ГПП–РУ1	1400,0	39,1	52,8	10,0	0,109	2	34,6	70	28,8	АПвБ6Шп - 3 × 50/16	0,90	1,15	161,5
РУ1–СД	727,8	–	–	10,0	0,084	1	42,0	–	35,0	АПвБ6Шп - 3 × 50/16	0,90	–	140,4

Таблица 2.10 – Определение потерь напряжения во внутризаводской сети

Участок	$U_{ном.}$, кВ	Марка провода	$L_{факт.}$, км	$I_{расч.}$, А	$n_{ц.}$, шт	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$\Delta U_{ном.}$, %
ГПП–ТП1	10,0	АПвБ6Шп-3 × 50/16	0,224	17,3	2	0,641	0,168	0,88	0,47	0,037
ГПП–ТП2	10,0	АПвБ6Шп-3 × 50/16	0,468	23,5	1	0,641	0,168	0,81	0,59	0,203
ГПП–ТП3	10,0	АПвБ6Шп-3 × 50/16	0,475	17,3	2	0,641	0,168	0,88	0,47	0,079
ГПП–ТП4	10,0	АПвБ6Шп-3 × 50/16	0,655	23,3	1	0,641	0,168	0,87	0,50	0,293
РУ1–ТП5	10,0	АПвБ6Шп-3 × 50/16	0,042	17,3	2	0,641	0,168	0,92	0,39	0,007
ГПП–ТП6	10,0	АПвБ6Шп-3 × 50/16	0,246	17,3	2	0,641	0,168	0,98	0,17	0,042
ГПП–РУ1	10,0	АПвБ6Шп-3 × 50/16	0,109	34,6	2	0,641	0,168	0,98	0,19	0,037
РУ1–СД	10,0	АПвБ6Шп-3 × 50/16	0,084	44,1	1	0,641	0,168	0,82	0,57	0,069

Таким образом, был произведен выбор проводников распределительной сети и выполнены проверки по условию нагрева и по допустимой потере напряжения.

2.6 Разработка линий электроснабжения до 1000 В по территории предприятия

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

Для питания РП принимаем силовой бронированный лентами кабель, с медной жилой, изоляцией и защитным шлангом из ПВХ марки ВБбШв с прокладкой в траншеях. Питание осуществляем по радиальным линиям.

Пример расчета проводника, питающего РП1

Параметры нагрузки РП

$$P_p = 244,7 \text{ кВт}, \quad S_p = 317,4 \text{ кВА}, \quad \cos \varphi = \frac{P_p}{S_p} = \frac{244,7}{317,4} = 0,77.$$

Расчётный ток РП

$$I_p = \frac{S_p}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{317,4}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,38} = 241,1 \text{ А}.$$

Намечаем кабель марки 2×ВБбШв- 2(5×120) с $I_{\text{доп}} = 295 \text{ А}$ [15].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 295 \text{ А} > \frac{I_p}{K_{\text{пр}}} = \frac{241,1}{0,90} = 267,9 \text{ А},$$

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

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{\text{p}\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,039 \cdot 241,1 \cdot 0,032 = 0,3\% < 5\%,$$

где l – длина рассматриваемой линии с запасом длины кабеля на разделку, ввод/вывод и непрямолинейную прокладку, км;

5% – допустимое значение потерь напряжения;

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

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

Расчёт по остальным участкам сведём в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 – Выбор и проверка проводников 0,4 кВ

Участок	P_p , кВт	S_p , кВА	$\cos\varphi$	I_p , А	Проводник	$I_{доп}$, А	$K_{пр}$	$I_p/K_{пр}$, А	$n_{шт}$	ΔU_0 , %/(А·км)	l , км	ΔU , %
ТП1- РП1	244,7	317,4	0,77	241,1	2×ВБ6Шв-1(5×120)	295	0,90	267,9	2	0,039	0,032	0,3
ТП1- РП2	248,4	361,4	0,69	549,1	1×ВБ6Шв-2(5×120)	590	1,00	549,1	1	0,038	0,073	1,5
ТП2- РП3	183,3	239,1	0,77	363,3	1×ВБ6Шв-1(5×185)	377	1,00	363,3	1	0,058	0,110	2,3
ТП2- РП4	107,4	127,4	0,84	193,5	1×ВБ6Шв-1(5×95)	259	1,00	193,5	1	0,096	0,132	2,4
ТП5- РП5	145,3	168,3	0,86	255,6	1×ВБ6Шв-1(5×95)	259	1,00	255,6	1	0,096	0,105	2,6
ТП5- РП6	138,6	185,3	0,75	140,8	2×ВБ6Шв-1(5×50)	174	0,90	156,4	2	0,079	0,072	0,8
ТП5- РП7	54,4	74,9	0,73	56,9	2×ВБ6Шв-1(5×10)	73	0,90	63,2	2	0,350	0,042	0,8
ТП5- РП8	176,6	273,4	0,65	415,4	1×ВБ6Шв-2(5×70)	430	1,00	415,4	1	0,054	0,052	1,2
ТП6- РП9	218,8	278,0	0,79	211,2	2×ВБ6Шв-1(5×120)	295	0,80	263,9	2	0,039	0,105	0,9

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

2.7 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 дальнейшего расчета необходимо знать параметры трансформаторов ГПП и воздушной линии, питающей предприятие. Произведем предварительный выбор данных элементов схемы электроснабжения.

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

$$S_{т.расч} = \frac{S_{р.ГПП}}{n_{т} \cdot \beta_{т}} = \frac{3452,8}{2 \cdot 0,55} = 3138,9 \text{ кВА},$$

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

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

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

Полученное значение $S_{т.расч}$ округляется до ближайшего большего стандартного значения. Исходя из расчета, принимаем к установке на ГПП двухобмоточные трансформаторы марки ТМН-4000/35.

Параметры выбранных трансформаторов приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Параметры трансформаторов [15]

Тип	$S_{ном},$ МВА	$U_{вн},$ кВ	$U_{нн},$ кВ	$P_{xx},$ кВт	$Q_{xx},$ кВАр	$P_{кз},$ кВт	$Q_{кз},$ кВАр	$U_{к},$ %	$I_{xx},$ %
ТМН-4000/35	4,0	35,0	11,0	6,7	40,0	33,5	300,0	7,5	1,00

Выбор сечения провода проводится по экономической плотности тока.

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{расч} = \frac{S_{р.ГПП}}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3452,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 28,5 \text{ А}.$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{п.ав} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3452,8}{\sqrt{3} \cdot 35} = 57,0 \text{ А.}$$

Минимальное экономически обоснованное сечение проводника

$$S_{э} = \frac{I_{расч}}{j_{э}} = \frac{28,5}{1} = 28,5 \text{ мм}^2,$$

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-120/19 с $I_{доп} = 390 \text{ А}$ [15, стр. 82, табл. 3.15.].

Произведем расчёт токов КЗ на участке от системы до подстанции, питающей рассматриваемый цех, а также от ГПП до высоковольтных электроприёмников, питаемых от РУ1.

Для расчетов токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения, рисунок 2.7 и на её основе схему замещения, рисунок 2.8. Расчетная схема представляет собой упрощенную однолинейную схему, на которой указывают все элементы системы электроснабжения и их параметры, влияющие на ток КЗ. Здесь же указывают точки, в которых необходимо определить ток КЗ.

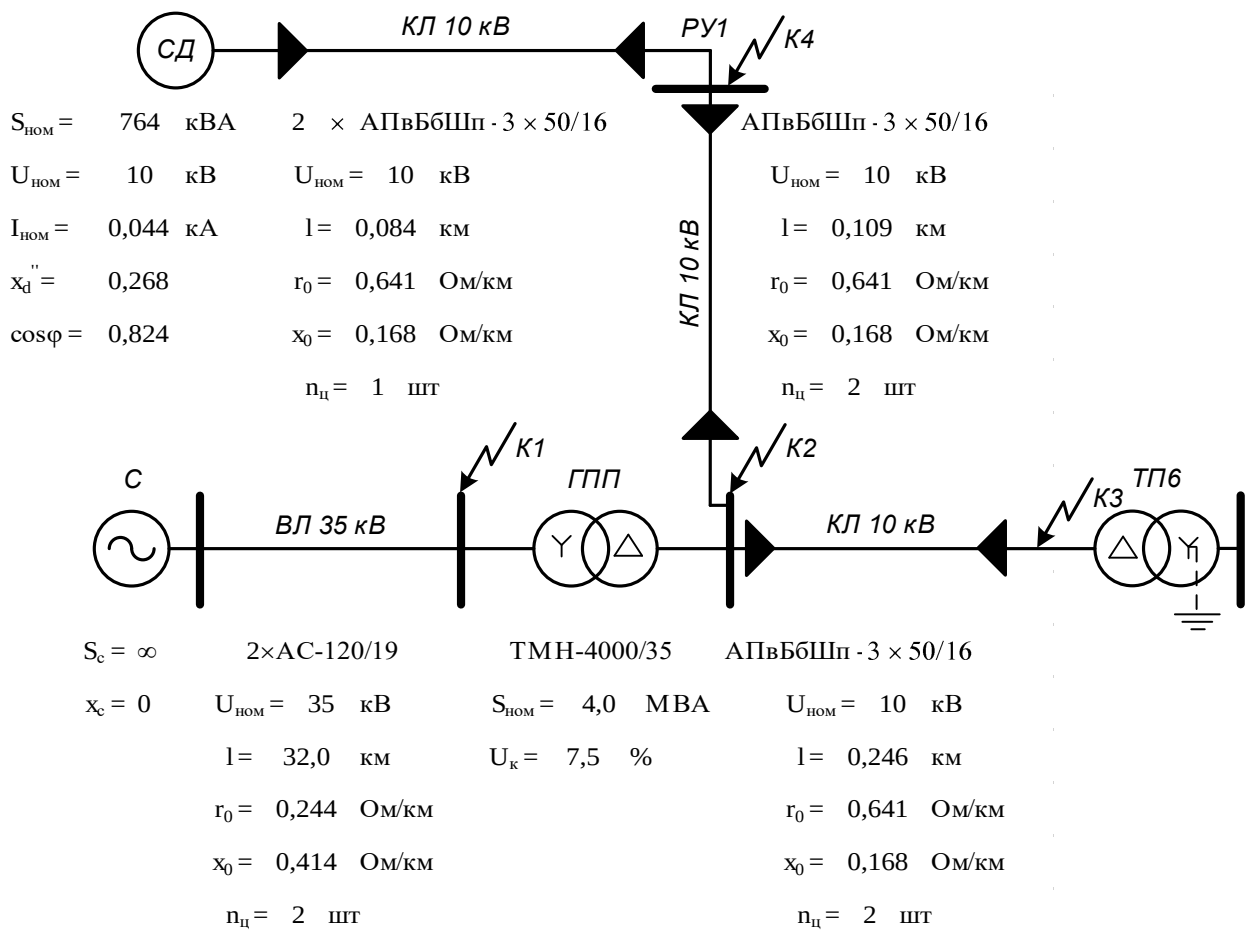


Рисунок 2.7 – Расчетная схема рассматриваемого участка

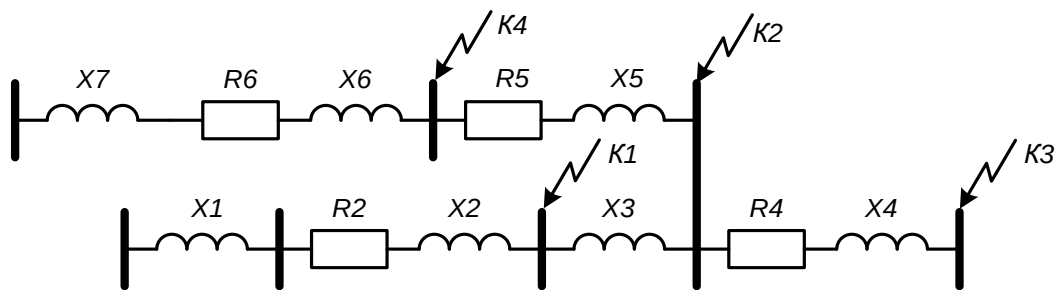


Рисунок 2.8 – Схема замещения рассматриваемого участка

Принимаем базисные величины

$$S_6 = 100 \text{ МВА}, \quad U_{\text{ср.НОМ1}} = 37 \text{ кВ}, \quad U_{\text{ср.НОМ2}} = 10,5 \text{ кВ},$$

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.НОМ1}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,560 \text{ кА},$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.НОМ2}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,499 \text{ кА}.$$

Параметры схемы замещения

Система

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

Воздушная линия

$$R_2 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном1}}^2} = 0,244 \cdot 32,0 \cdot \frac{100}{1 \cdot 37^2} = 0,570,$$

$$X_2 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном1}}^2} = 0,414 \cdot 32,0 \cdot \frac{100}{1 \cdot 37^2} = 0,968.$$

Трансформаторы

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

Кабельная линия, питающий подстанцию

$$R_4 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,641 \cdot 0,246 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,143,$$

$$X_4 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,168 \cdot 0,246 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,037.$$

Кабельная линия, питающий высоковольтное РУ

$$R_5 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,641 \cdot 0,109 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,063,$$

$$X_5 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,168 \cdot 0,109 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,017.$$

Кабельная линия, питающая высоковольтный двигатель

$$R'_6 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,641 \cdot 0,084 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,049,$$

$$X'_6 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,168 \cdot 0,084 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,013.$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$R_6 = \frac{R'_6}{n_{\text{д}}} = \frac{0,049}{2} = 0,024, \quad X_6 = \frac{X'_6}{n_{\text{д}}} = \frac{0,013}{2} = 0,006.$$

Высоковольтный двигатель

сопротивление одного двигателя

$$X'_7 = \frac{x''_d \cdot S_6}{S_{\text{ном}}} = \frac{0,268 \cdot 100}{0,764} = 35,068,$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$X_7 = \frac{X'_7}{n_d} = \frac{35,068}{2} = 17,534.$$

а) Точка К1

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К1

$$R_C = R_2 = 0,570 \quad X_C = X_1 + X_2 = 0 + 0,968 = 0,968.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К1

$$R_D = R_5 + R_6 = 0,063 + 0,024 = 0,088,$$

$$X_D = X_3 + X_5 + X_6 + X_7 = 1,875 + 0,017 + 0,006 + 17,534 = 19,432.$$

Результирующее сопротивление в точке К1

$$R_{\text{рез1}} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,570 \cdot 0,088}{0,570 + 0,088} = 0,076,$$

$$X_{\text{рез1}} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{0,968 \cdot 19,432}{0,968 + 19,432} = 0,922,$$

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{R_{\text{рез1}}^2 + X_{\text{рез1}}^2} = \sqrt{0,076^2 + 0,922^2} = 0,925.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К1

$$I_{\text{к1}} = \frac{I_{61}}{Z_{\text{рез1}}} = \frac{1,560}{0,925} = 1,69 \text{ кА}.$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a1} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{0,922}{314 \cdot 0,076} = 0,0386 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,0386} = 1,772.$$

Ударный ток КЗ в точке К1

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{к1} = \sqrt{2} \cdot 1,772 \cdot 1,69 = 4,2 \text{ кА.}$$

б) Точка К2

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К2

$$R_C = R_2 = 0,570, \quad X_C = X_1 + X_2 + X_3 = 0 + 0,968 + 1,875 = 2,843.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К2

$$R_D = R_5 + R_6 = 0,063 + 0,024 = 0,088, \\ X_D = X_5 + X_6 + X_7 = 0,017 + 0,006 + 17,534 = 17,557.$$

Резльтирующее сопротивление в точке К2

$$R_{рез2} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,570 \cdot 0,088}{0,570 + 0,088} = 0,076, \\ X_{рез2} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{2,843 \cdot 17,557}{2,843 + 17,557} = 2,447, \\ Z_{рез2} = \sqrt{R_{рез2}^2 + X_{рез2}^2} = \sqrt{0,076^2 + 2,447^2} = 2,448.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К2

$$I_{к2} = \frac{I_{62}}{Z_{рез2}} = \frac{5,499}{2,448} = 2,25 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a2} = \frac{X_{рез2}}{\omega \cdot R_{рез2}} = \frac{2,447}{314 \cdot 0,076} = 0,1024 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд2} = 1 + e^{-0,01/T_{a2}} = 1 + e^{-0,01/0,1024} = 1,907.$$

Ударный ток КЗ в точке К2

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2} \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,907 \cdot 2,25 = 6,1 \text{ кА.}$$

в) Точка К3

Сопротивление от источника до точки КЗ

$$R_{\text{рез3}} = R_{\text{рез2}} + R_4 = 0,076 + 0,143 = 0,219,$$

$$X_{\text{рез3}} = X_{\text{рез2}} + X_4 = 2,447 + 0,037 = 2,484,$$

$$Z_{\text{рез3}} = \sqrt{R_{\text{рез3}}^2 + X_{\text{рез3}}^2} = \sqrt{0,219^2 + 2,484^2} = 2,494.$$

Действующее значение тока КЗ в точке КЗ

$$I_{\text{кз}} = \frac{I_{62}}{Z_{\text{рез3}}} = \frac{5,499}{2,494} = 2,20 \text{ кА}.$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{\text{аз}} = \frac{X_{\text{рез3}}}{\omega \cdot R_{\text{рез3}}} = \frac{2,484}{314 \cdot 0,219} = 0,0361 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд3}} = 1 + e^{-0,01/T_{\text{аз}}} = 1 + e^{-0,01/0,0361} = 1,758.$$

Ударный ток КЗ в точке КЗ

$$i_{\text{уд3}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд3}} \cdot I_{\text{кз}} = \sqrt{2} \cdot 1,758 \cdot 2,2 = 5,5 \text{ кА}.$$

г) Точка К4

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К4

$$R_{\text{с}} = R_2 + R_5 = 0,570 + 0,063 = 0,634,$$

$$X_{\text{с}} = X_1 + X_2 + X_3 + X_5 = 0 + 0,968 + 1,875 + 0,017 = 2,859$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К4

$$R_{\text{д}} = R_6 = 0,024, \quad X_{\text{д}} = X_6 + X_7 = 0,006 + 17,534 = 17,540.$$

Результирующее сопротивление в точке К4

$$R_{\text{рез4}} = \frac{R_{\text{с}} \cdot R_{\text{д}}}{R_{\text{с}} + R_{\text{д}}} = \frac{0,634 \cdot 0,024}{0,634 + 0,024} = 0,023,$$

$$X_{\text{рез4}} = \frac{X_{\text{с}} \cdot X_{\text{д}}}{X_{\text{с}} + X_{\text{д}}} = \frac{2,859 \cdot 17,540}{2,859 + 17,540} = 2,459,$$

$$Z_{\text{рез4}} = \sqrt{R_{\text{рез4}}^2 + X_{\text{рез4}}^2} = \sqrt{0,023^2 + 2,459^2} = 2,459.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К4

$$I_{K4} = \frac{I_{62}}{Z_{рез4}} = \frac{5,499}{2,459} = 2,24 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a4} = \frac{X_{рез4}}{\omega \cdot R_{рез4}} = \frac{2,459}{314 \cdot 0,023} = 0,3333 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд4} = 1 + e^{-0,01/T_{a4}} = 1 + e^{-0,01/0,3333} = 1,970.$$

Ударный ток КЗ в точке К4

$$i_{уд4} = \sqrt{2} \cdot k_{уд4} \cdot I_{K4} = \sqrt{2} \cdot 1,970 \cdot 2,24 = 6,2 \text{ кА.}$$

Расчет токов КЗ сведем в таблицу 2.13.

Таблица 2.13 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	U _{ср.ном} , кВ	I _б , кА	R _{рез}	X _{рез}	Z _{рез}	I _к , кА	$\frac{X_{рез}}{R_{рез}}$	k _{уд}	i _{уд} , кА
К1	37,0	1,560	0,076	0,922	0,925	1,69	0,0386	1,772	4,2
К2	10,5	5,499	0,076	2,447	2,448	2,25	0,1024	1,907	6,1
К3	10,5	5,499	0,219	2,484	2,494	2,20	0,0361	1,758	5,5
К4	10,5	5,499	0,023	2,459	2,459	2,24	0,3333	1,970	6,2

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

а) Проверка кабелей АПвББШп, питающих подстанцию и РУ1

Проверка на термическую стойкость кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена токам трехфазного короткого замыкания может быть выполнена только по величине односекундного короткого замыкания.

Проектируемую линию защищает выключатель типа ВВУ, с временем срабатывания 0,05 секунды. Расчетное время отключения линии в случае короткого замыкания

$$\tau = t_{p.з.min} + t_{откл.в} = 0,6 + 0,05 = 0,65 \text{ с,}$$

где $t_{p.з.min}$ – минимальное время срабатывания релейной защиты [1, стр. 164],
с;

$t_{отк.в}$ – полное время отключения выключателя [18, стр. 630, табл. П4.4], с.

Так как продолжительность короткого замыкания отличается от 1 секунды, то необходимо пересчитать максимально допустимый ток КЗ

$$I_{к.з(т)} = \frac{I_{к.з(1с)}}{\sqrt{т}} = \frac{4,7}{\sqrt{0,65}} = 5,83 \text{ кА},$$

где $I_{к.з(1с)}$ – допустимый ток односекундного короткого замыкания, кА.

Проверка по условию термической стойкости

$$I_{к.з(т)} = 5,83 \text{ кА} > I_{к2}^{(3)} = 2,25 \text{ кА}.$$

Предварительно выбранное сечение по термической стойкости проходит.

Проверка медного экрана кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена

Так как продолжительность короткого замыкания отличается от 1 секунды, то необходимо пересчитать максимально допустимый ток КЗ для медного экрана

$$I_{к.з.э(т)} = \frac{I_{к.з.э(1с)}}{\sqrt{т}} = \frac{3,3}{\sqrt{0,65}} = 4,093 \text{ кА},$$

где $I_{к.з.э(1с)}$ – допустимый ток односекундного короткого замыкания для медного экрана, кА.

Двухфазное короткое замыкание

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,25 = 1,945 \text{ кА}.$$

Проверка по условию термической стойкости медного экрана

$$I_{к.з.э(т)} = 4,093 \text{ кА} > I_{к2}^{(3)} = 1,945 \text{ кА}.$$

Предварительно выбранное сечение медного экрана по термической стойкости проходит.

б) Проверка кабелей АПВБбШп, питающих высоковольтные электроприёмники

Проектируемую линию защищает выключатель типа ВВУ, с временем срабатывания 0,05 секунды. Расчетное время отключения линии в случае короткого замыкания

$$\tau = t_{p.z.min} + t_{отк.в} = 0,6 + 0,05 = 0,65 \text{ с.}$$

Так как продолжительность короткого замыкания отличается от 1 секунды, то необходимо пересчитать максимально допустимый ток КЗ

$$I_{к.з(\tau)} = \frac{I_{к.з(1с)}}{\sqrt{\tau}} = \frac{4,7}{\sqrt{0,65}} = 5,83 \text{ кА.}$$

Проверка по условию термической стойкости

$$I_{к.з(\tau)} = 5,83 \text{ кА} > I_{к4}^{(3)} = 2,24 \text{ кА.}$$

Предварительно выбранное сечение по термической стойкости проходит.

Проверка медного экрана кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена

Так как продолжительность короткого замыкания отличается от 1 секунды, то необходимо пересчитать максимально допустимый ток КЗ для медного экрана

$$I_{к.з.э(\tau)} = \frac{I_{к.з.э(1с)}}{\sqrt{\tau}} = \frac{3,3}{\sqrt{0,65}} = 4,093 \text{ кА,}$$

где $I_{к.з.э(1с)}$ – допустимый ток односекундного короткого замыкания для медного экрана, кА.

Двухфазное короткое замыкание

$$I_{к4}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к4}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,24 = 1,937 \text{ кА.}$$

Проверка по условию термической стойкости медного экрана

$$I_{к.з.э(\tau)} = 4,093 \text{ кА} > I_{к4}^{(3)} = 1,937 \text{ кА.}$$

Предварительно выбранное сечение медного экрана по термической стойкости проходит.

Проверку выбранных сечений сведем в таблицу 2.14.

Таблица 2.14 – Результаты проверки выбранных сечений

Точка КЗ	τ , с	$I_{к.з.(1с)}$, кА	$I_{к.з.(\tau)}$, кА	$I_k^{(3)}$, кА	$S_{жил}$, мм ²	$I_{к.з.э(1с)}$, кА	$I_{к.з.э(\tau)}$, кА	$I_k^{(2)}$, кА	$S_{м.э}$, мм ²
ГПП–ТП	0,65	4,7	5,83	2,25	50	3,3	4,093	1,945	16
ГПП–РУ1	0,65	4,7	5,83	2,25	50	3,3	4,093	1,945	16
РУ1–СД	0,65	4,7	5,83	2,24	50	3,3	4,093	1,937	16

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

3 Внешнее электроснабжение предприятий

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

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

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

Для распределения электрической энергии на напряжении 10 кВ требуется разработка закрытого распределительного устройства. Размер этого устройства на прямую зависит от количества присоединений на данном напряжении. Каждое присоединение к шинам 10 кВ требует отдельную ячейку. В общем случае, для нормального функционирования распределительной сети требуется не только подключить все цеховые трансформаторные подстанции, но и устройства компенсации реактивной мощности 10 кВ, измерительные трансформаторы 10 кВ и оставить места под резервные линии.

3.1 Разработка схемы внешнего электроснабжения

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

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

В качестве основных схем на двухтрансформаторных подстанциях в данный момент используются типовая схема с ремонтной перемычкой (4Н) и мостиковые типовые схемы (5Н и 5АН), при этом мостиковые схемы используются преимущественно на проходных подстанциях.

Так как проектируемая подстанция является тупиковой, то принимаем схему внешнего электроснабжения в виде двух блоков с выключателями и неавтоматической перемычкой, рисунок 3.1 [22]. К тому же данная схема является более дешёвой, так как используется два выключателя вместо трёх, но не менее надёжной, чем мостиковые схемы.

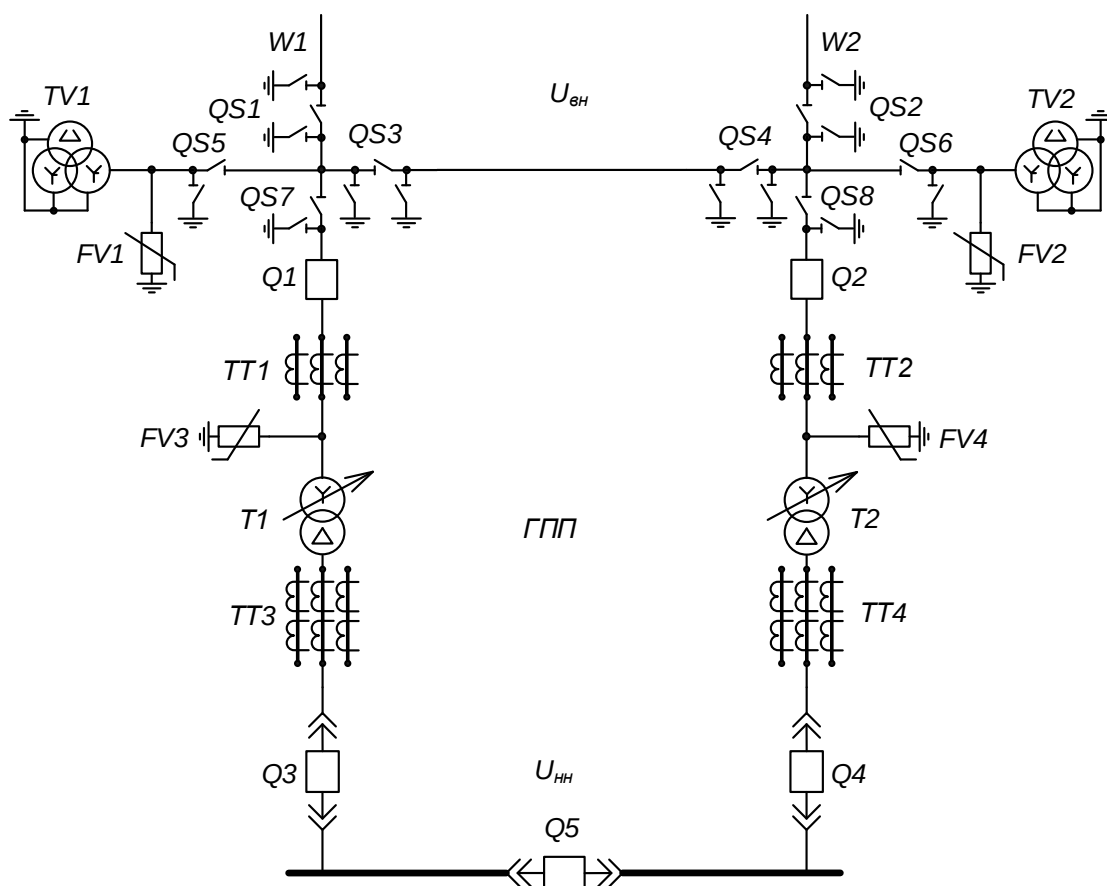


Рисунок 3.1 – Схема внешнего электроснабжения

Принцип работы схемы: при нарушении в трансформаторе Т1, сработает защита и подаст сигнал на отключение выключателя в цепях

трансформатора на низкой Q4 и высокой Q2 стороне. Секционный выключатель низкой стороны Q5 подключит секцию, оставшуюся без напряжения.

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

3.2 Выбор трансформатора главной понизительной подстанции

В пункте 2.7 была определена расчетная мощность трансформаторов ГПП. К установке на главной понизительной подстанции приняты два двухобмоточных трансформатора марки ТМН-4000/35.

Трансформатор марки ТМН – это трехфазный масляный трансформатор с возможностью регулировки напряжения под нагрузкой. Масляные трансформаторы обладают высокой перегрузочной способностью за счет эффективного теплоотвода, имеют широкое распространение и значительно дешевле сухих трансформаторов.

Расчётная мощность трансформатора была определена для коэффициента загрузки 0,55. Т.е. предусмотрен практически сто процентный резерв мощности. Связано это с тем, что в случае выхода из строя заменить трансформатор ГПП значительно сложнее, чем цеховой трансформатор. Может потребоваться достаточно много времени на покупку, доставку и установку нового трансформатора.

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

$$S_{p, ГПП} = 3457,0 \text{ кВА} < 1,4 \cdot S_{\text{ном.т}} = 1,4 \cdot 4000 = 5600,0 \text{ кВА},$$

выбранная мощность трансформаторов обеспечивает электроснабжение предприятия в послеаварийном режиме работы. Оставляем ранее намеченные трансформаторы.

3.3 Разработка линии электроснабжения главной понизительной подстанции

В пункте 2.7 было выбрано сечение воздушной линии электропередачи методом экономической плотности тока. Марка провода и сечение линии принято АС-120/19. Произведем необходимые проверки выбранного провода.

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

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

проверка выполняется.

2. 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.

3. Проверка по допустимой потере напряжения

$$L_{\text{доп}} = L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{расч}}} = 2,05 \cdot 5 \cdot \frac{390}{28,5} = 140,4 \text{ км} > L_{\text{факт}} = 32,0 \text{ км},$$

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

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

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

Проверка выполняется.

4. Проверка на корону для линий 35 кВ не проводится.

Прокладка воздушной линии электропередачи осуществляется на двухцепных стальных многогранных опорах марки ПМ35-2 (промежуточные

опоры) и УАМ35-2 (анкерные опоры) с подвеской проводов шестиугольником.

Опоры данного типа предназначены для прокладки воздушных линий в районах с расчётной температурой наиболее холодной пятидневки до минус 65 °С, в любых ветровых районах. Данный тип опор имеет относительно небольшой вес, что облегчает и ускоряет транспортировку и монтаж, высокую устойчивость к механическим повреждениям, небольшую площадь размещения.

3.4 Выбор оборудования открытого распределительного устройства главной понизительной подстанции

3.4.1 Выбор выключателей и разъединителей

Оборудование ОРУ выбирается на основании схемы внешнего электроснабжения, выбранной ранее. Как правило завод-изготовитель комплектует подстанцию своим оборудованием, которое сам и производит или совместимым оборудованием по желанию заказчика.

Поставленное оборудование необходимо проверить на возможность использования в разрабатываемой схеме электроснабжения.

Намечаем к установке вакуумный выключатель ВГБ-УЭТМ-35-12,5/630-УХЛ1. Параметры выключателя приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры выключателя [23, 24]

№	Параметр	Значение
1	Тип	ВГБ
2	Номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ	35
3	Номинальный ток $I_{ном}$, А	630
4	Номинальный ток отключения $I_{отк.ном}$, кА	12,5
5	Ток электродинамической стойкости $I_{дин}$, кА	12,5
6	Пик тока электродинамической стойкости $i_{дин}$, кА	32
7	Ток термической стойкости $I_{тер}$, кА	12,5
8	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{тер}$, с	3
9	Полное время отключения выключателя $t_{отк.в}$, с	0,065
10	Климатическое исполнение	УХЛ1

Проверка выключателя

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

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

– по току $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3452,8}{\sqrt{3} \cdot 35} = 57,0 \text{ А} < I_{ном} = 630 \text{ А};$$

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

$$I_{n,t} = 1,7 \text{ кА} < I_{n,t} = 12,5 \text{ кА};$$

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

$$I_{п,0} = 1,7 \text{ кА} < I_{дин} = 12,5 \text{ кА};$$

$$i_{уд} = 4,2 \text{ кА} < i_{дин} = 32 \text{ кА};$$

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

$$B_k = I_{п,0}^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{отк.в} + T_a) = 1,7^2 \cdot (1,2 + 0,065 + 0,0387) = 3,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{2тер}^2 \cdot t_{тер} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$B_k = 3,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{2тер}^2 \cdot t_{тер} = 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель проходит по результатам проверок.

Намечаем к установке разъединитель РДЗ-35/1000-УХЛ1. Параметры разъединителя приведены в таблице 3.2.

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

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

Проверка разъединителя

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

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

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

$$I_{\max} = 57,0 \text{ A} < I_{\text{ном}} = 1000 \text{ A};$$

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

$$i_{\text{уд}} = 4,2 \text{ кА} < i_{\text{пр.с}} = 63 \text{ кА};$$

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

$$B_k = 3,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 25^2 \cdot 4 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Разъединитель проходит по результатам проверок.

Оборудование выбираем одностипное, т.е. все выключатели и разъединители на высокой стороне будут одной марки. Дальнейший расчет сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Выбор выключателей и разъединителей

Расчетные данные	Выключатель ВГБ-УЭТМ-35-12,5/630- УХЛ1	Разъединитель РД3-35/1000-УХЛ1
$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 57,0 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$I_{\text{н,т}} = 1,7 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.ном}} = 12,5 \text{ кА}$	–
$I_{\text{н,0}} = 1,7 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 12,5 \text{ кА}$	–
$i_{\text{уд}} = 4,2 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 63 \text{ кА}$
$B_k = 3,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

3.4.2 Выбор измерительных трансформаторов тока

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

Основными приборами, которые подключаются к трансформаторам тока на понизительных подстанциях являются амперметры, ваттметры, варметры и счетчики активной и реактивной энергии [18, стр. 371, рис. 4.104;

18, стр. 362, табл. 4.11]. Нагрузка трансформаторов тока представлена в таблице 3.4 [18, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 3.4 – Нагрузка трансформаторов тока

Место установки	Прибор	Тип	Нагрузка, В·А		
			А	В	С
Сторона ВН трансформатора ГПП	Амперметр	Э – 350	0,5	—	0,5
	Амперметр	Э – 350	0,5	—	0,5
Итого:			1,0	—	1,0

Намечаем к установке трансформаторы тока ТФЗМ35Б-У1. Параметры трансформатор тока приведены в таблице 3.5.

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

№	Параметр	Значение
1	Тип	ТФЗМ
2	Номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ	35
3	Номинальный ток $I_{ном}$, А	75
4	Вторичный номинальный ток трансформатора тока I_2 , А	5
5	Ток электродинамической стойкости $i_{дин}$, кА	15
6	Ток термической стойкости $I_{тер}$, кА	3,5
7	Кратность	—
8	Длительность протекания тока термической стойкости $t_{тер}$, с	3
9	Вторичная номинальная нагрузка трансформатора тока $Z_{2ном}$, Ом	1,2
10	Класс точности	0,5
11	Климатическое исполнение	У1

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

Проверка трансформаторов тока

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

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

– по току $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = 57,0 \text{ А} < I_{ном} = 75 \text{ А};$$

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

Общее сопротивление приборов, подключенных к трансформатору тока

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

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

Допустимое сопротивление проводников

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

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 $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$

$$i_{\text{уд}} = 4,2 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 15 \text{ кА};$$

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

$$B_{\text{к}} = 3,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 3,5^2 \cdot 3 = 36,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Трансформатор тока проходит по результатам проверок. Дальнейший расчет сведем в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Выбор трансформаторов тока в цепях трансформатора ГПП

Тип ТТ	Расчетные данные	Каталожные данные
Сторона ВН трансформатора ГПП	$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{max} = 57,0 \text{ А}$	$I_{ном} = 75 \text{ А}$
	$B_k = 3,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 36,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{уд} = 4,2 \text{ кА}$	$I_{дин} = 15 \text{ кА}$
	$r_2 = 0,147 \text{ Ом}$	$Z_{2ном} = 1,2 \text{ Ом}$

3.4.3 Выбор измерительных трансформаторов напряжения

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

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

Таблица 3.7 – Нагрузка трансформаторов напряжения

Место установки	Прибор	Тип	$S_{обм}, \text{ В} \cdot \text{А}$	$n_{обм}, \text{ шт}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{приб}, \text{ шт}$	Потр. мощн.	
								Р, Вт	Q, ВАр
Сторона ВН трансформатора ГПП	Вольтметр	Э – 335	2,0	1	1	0	1	2,0	0,0
	Вольтметр	Н – 393	10,0	1	1	0	1	10,0	0,0
	Частотомер	Н – 397	7,0	1	1	0	1	7,0	0,0
Итого:								19,0	0,0

Намечаем к установке трансформатор напряжения ЗНОМ-35 У1. Параметры трансформаторов напряжения приведены в таблице 3.8.

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

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

Проверка трансформаторов напряжения.

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

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

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

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 3.7

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

Трансформаторы напряжения проходят по результатам проверок.

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

3.4.4 Выбор ограничителя перенапряжения

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

Принимаем к установке ограничитель напряжения марки ОПН-35.

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

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

Проверка выполняется.

3.4.5 Выбор трансформаторов собственных нужд

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

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

– подогрев выключателей ОРУ

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

– подогрев шкафов

$$P_{\text{шк}\Sigma} = n_{\text{шк}} \cdot P_{\text{шк}} = 20 \cdot 1,0 = 20,0 \text{ кВт.}$$

– отопление, освещение, вентиляция ЗРУ

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

– освещение ОРУ

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

Установленная мощность нагрузки собственных нужд

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{выкл}\Sigma} + P_{\text{шк}\Sigma} + P_{\text{о.ЗРУ}} + P_{\text{о.ОРУ}} = 8,8 + 20,0 + 20,0 + 5,0 = 53,8 \text{ кВт.}$$

Мощность трансформатора собственных нужд

$$S_{\text{тр}} \geq P_{\text{расч}} = k_c \cdot P_{\text{уст}} = 0,8 \cdot 53,8 = 43,0 \text{ кВт,}$$

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

Принимаем к установке два трансформатора типа ТСН-63.

Таким образом устанавливаемое оборудование ОРУ удовлетворяет результатам проверок и пригодно к эксплуатации.

План ГПП приведен на рисунке 3.2.

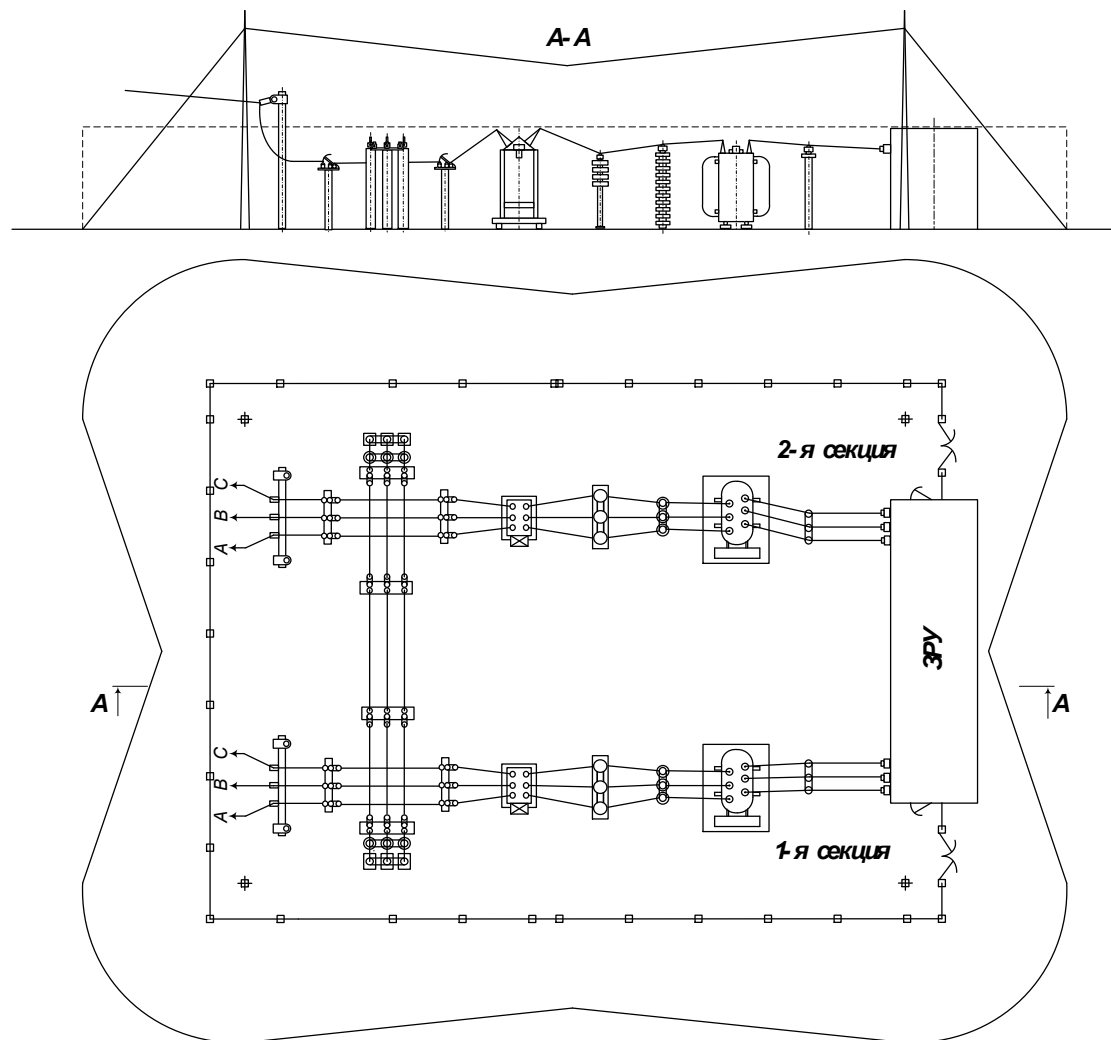


Рисунок 3.2 – План ГПП

3.5 Выбор оборудования закрытого распределительного устройства главной понизительной подстанции

3.5.1 Выбор типа закрытого распределительного устройства

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

Наиболее надежный и современный тип ячеек, это ячейки серии КРУ. В их конструкции выключатель размещен на выкатной тележке, и подключается по средствам штепсельного разъема, что позволяет, в случае поломки, менять тележку и восстанавливать электроснабжение за считанные минуты. Главный недостаток КРУ – это высокая стоимость, но по техническим характеристикам и эксплуатационным свойствам они превосходят иные виды распределительных устройств.

Ячейки КРУ имеют жесткую металлическую конструкцию, состоящую из корпуса шкафа, выкатного элемента и релейного шкафа. В корпус шкафа КРУ могут быть встроены трансформаторы тока, трансформаторы напряжения и токоведущие части. В верхней части шкафов КРУ устанавливаются релейные шкафы со встроенной аппаратурой релейной защиты и автоматики, аппаратурой управления, измерения, сигнализации, клеммами.

Выключатели, трансформаторы напряжения и силовые контакты (выполняющие роль разъединителей) устанавливаются на выкатном элементе – тележке. Конструкция КРУ и выкатных элементов предусматривает возможность фиксирования выкатных элементов в рабочем, контрольном положениях, а также их выкатывания из шкафа в ремонтное положение.

Каждая ячейка КРУ изготавливается для выполнения определенной функции: подключение силовых линий, контроль параметров сети, обеспечение собственных нужд, в соответствии с этим различаются схемы главных электрических цепей ячеек.

Ячейки КРУ, размещаются в помещении ЗРУ в два ряда, каждый ряд – это отдельная секция распределительного устройства, питающаяся от разных трансформаторов. Пониженное напряжение с питающих трансформаторов передается по жестким шинам через проходные изоляторы, расположенные в стене здания, на вводные выключатели, подключенные к секциям шин распределительного устройства.

В каждом из рядов предусмотрена ячейка для организации секционного выключателя – в одном ряду ячейка с силовым выключателем, в другом с разъединителем. На каждой из секций предусматривается ячейка с трансформаторами собственных нужд, от которых запитаны щиты 0,4 кВ, размещенные в стороне от высоковольтного оборудования.

Каждое подключение к шинам 10 кВ выполняется через высоковольтную ячейку. Отдельная ячейка предусматривается и для силовых нагрузок, и для устройств компенсации реактивной мощности, и для измерительных трансформаторов.

Все линии электроснабжения, распределительной сети предприятия начинаются от ЗРУ. Кабельные линии подключаются к ячейкам непосредственно.

Количество, состав и назначение ячеек КРУ приведено на рисунке 3.3.

План ЗРУ с размещением ячеек КРУ приведен на рисунке 3.4.

Завод-изготовитель комплектует КРУН своим оборудованием, которое сам и производит или совместимым оборудованием по желанию заказчика. Данное оборудование необходимо проверить на возможность использования в разрабатываемой схеме электроснабжения.

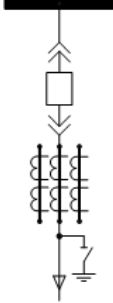
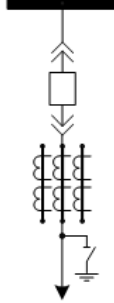
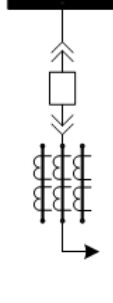
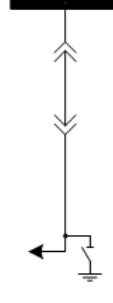
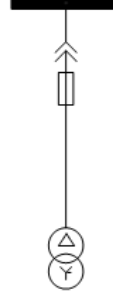
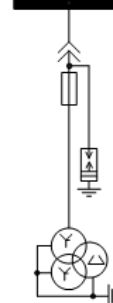
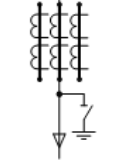
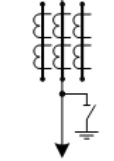
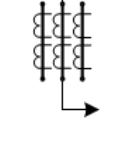
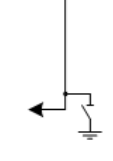
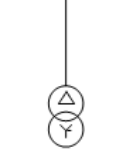
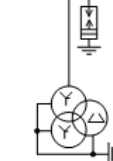
Порядковый номер ячейки в КРУ		2-7, 14-19	8, 13	10	11	1, 20	9, 12
Номинальное напряжение, кВ	10						
Номинальный ток сборных шин, А	1600						
Вид оперативного тока, значение, В	пост., 220						
Схема главных цепей							
Назначение ячейки		Шкаф отходящей кабельной линии	Шкаф ввода	Шкаф секционного выключателя	Шкаф секционного выключателя	Шкаф тр-ра С.Н.	Шкаф с ТН
ТСН мощность, кВА		—	—	—	—	63	—
ТТ класс точности		0,5	0,5	0,5	—	—	—
ТН класс точности		—	—	—	—	—	0,5
Тип предохранителя		—	—	—	—	ПКН001-10У3	ПКН001-10У3
Тип выключателя		ВВУ-СЭЩ-П5-10-20/630	ВВУ-СЭЩ-П5-10-20/630	ВВУ-СЭЩ-П5-10-20/630	—	—	—
Учет электрической энергии (да/нет)		да	да	нет	нет	да	нет
Релейная защита		да	да	нет	нет	да	нет
Количество ячеек КРУ		12	2	1	1	2	2

Рисунок 3.3 – Ячейки КРУ

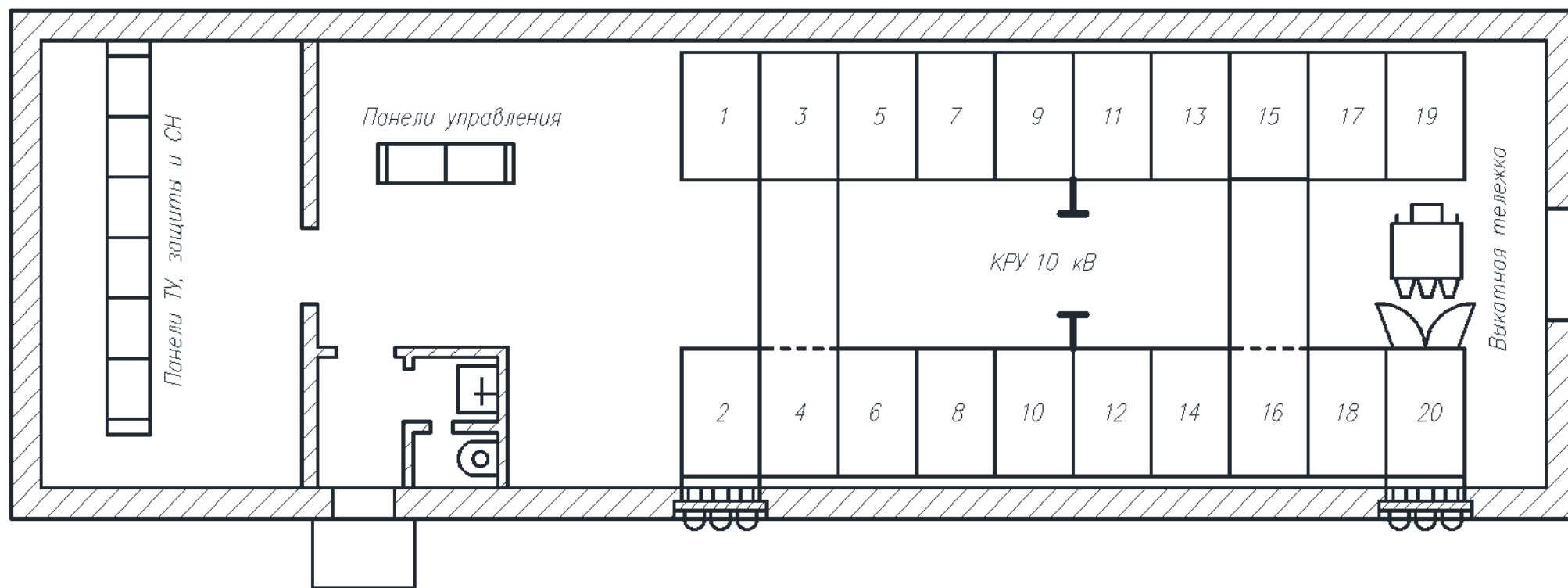


Рисунок 3.4 – План ЗРУ с размещением ячеек КРУ

3.5.2 Выбор оборудования закрытого распределительного устройства

Намечаем к установке вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-П5-10-20/630-УЗ. Параметры выключателя приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Параметры выключателя [23, 24]

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

На низкой стороне используются выкатные тележки, разъединитель не устанавливается. Расчет проверки выключателя сведем в таблицу 3.10.

Таблица 3.10 – Проверка выключателя

Расчетные данные	Выключатель ВВУ-СЭЩ-П5-10-20/630-УЗ
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{max}} = 199,3 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$
$I_{\text{п,т}} = 2,2 \text{ кА}$	$I_{\text{отк.ном}} = 20 \text{ кА}$
$I_{\text{п,0}} = 2,2 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 20 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = 6,1 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 3,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Нагрузка трансформаторов тока представлена в таблице 3.11 [18, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 3.11 – Нагрузка трансформаторов тока

Место установки	Прибор	Тип	Нагрузка, В·А		
			А	В	С
Сторона НН	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 к установке трансформаторы тока ТШЛ-10 У3. Параметры трансформаторов тока приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Параметры трансформаторов тока [25, стр. 294, табл. 5.9]

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

Расчет проверки трансформаторов тока сведем в таблицу 3.13.

Таблица 3.13 – Проверка трансформаторов тока

Тип ТТ	Расчетные данные	Каталожные данные
Шкаф ввода	$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ
	$I_{max} = 199,3$ А	$I_{ном} = 2000$ А
	$B_k = 3,3$ кА ² · с	$B_k = 14700$ кА ² · с
	$i_{уд} = 6,1$ кА	не проверяется
	$r_2 = 0,397$ Ом	$Z_{2ном} = 0,800$ Ом

Нагрузка трансформаторов напряжения представлена в таблице 3.14 [18, стр. 635, табл. П.4.7].

Таблица 3.14 – Нагрузка трансформаторов напряжения

Место установки	Прибор	Тип	$S_{обм},$ В·А	$n_{обм},$ шт	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{приб},$ шт	Потр. мощн.	
								P, Вт	Q, ВАр
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	—	—	—	10	0,20	0,0
	Счетчик V	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	10	0,20	0,0
Итого:								10,4	0,0

Намечаем к установке трансформаторы напряжения НТМИ-10. Параметры трансформаторов напряжения приведены в таблице 3.15. Таблица 3.15 – Параметры трансформаторов напряжения [25, стр. 326, табл. 5.13]

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

Проверка трансформаторов напряжения.

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

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

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

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 3.7

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{10,4^2 + 0^2} = 10,4 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{ном} = 120 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформаторы напряжения проходят 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].

Таким образом поставляемое оборудование КРУ удовлетворяет результатам проверок и пригодно к эксплуатации.

4 Электроснабжение промышленных потребителей в здании механического цеха

4.1 Распределение электроприёмников производственного помещения по пунктам питания

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

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

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

При питании цеха 3 категории, на вводе в здание устанавливается вводное распределительное устройство типа ВРУ-320-02-10 на один ввод, оснащенный прибором учета электроэнергии. К нему же подключаются мощные электроприемники и распределительные устройства цеха.

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

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



Рисунок 4.1 – План силовой и распределительной сети производственного помещения

4.2 Расчет электрических нагрузок производственного помещения

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

Сварочная машина

$$P_{\text{пасп}} = S_{\text{пасп}} \cdot \cos\varphi = 10,0 \cdot 0,70 = 7,0 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} \cdot \cos\varphi = 10,0 \cdot \sqrt{0,60} \cdot 0,70 = 5,4 \text{ кВт},$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{пасп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi} = \frac{7,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,70} = 15,2 \text{ А},$$

$$I_{\text{ном.ПВ}} = I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 15,2 \cdot \sqrt{0,60} = 11,8 \text{ А},$$

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}} = 3 \cdot 15,2 = 45,6 \text{ А},$$

где $P_{\text{пасп}}$ – паспортная мощность электроприёмника, кВт;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная активная мощность приёмника, приведенная к ПВ =100%, кВт;

$I_{\text{ном}}$ – номинальный ток приемника по паспортным данным, А;

$I_{\text{ном.ПВ}}$ – номинальный ток приемника, приведенный к ПВ =100%, А;

$I_{\text{пуск}}$ – пусковой ток приёмника, А;

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

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности;

η – КПД электроприёмника;

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

Настольно-сверлильный станок (однофазный)

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{4,0}{0,22 \cdot 0,50 \cdot 0,89} = 40,9 \text{ А},$$

$$I_{\text{пуск}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}} = 5 \cdot 40,9 = 204,3 \text{ А},$$

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

Определение номинальных параметров электроприемников
производственного помещения сведем в таблицу 4.1.

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

Наименование оборудования	п, шт	P _{ном} , кВт	k _{исп}	cosφ	tgφ	η	K _{пуск}	I _{ном} , А	I _{пуск} , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПР1 ПР11-7123									
Резьбонарезной полуавтомат	3	3,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	10,2	51,2
Заточной станок (однофазный)	2	2,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	20,4	102,1
Листогайбочная машина	1	15,0	0,25	0,50	1,73	0,89	5	51,2	256,1
Точильно-шлифовальный станок	4	2,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	6,8	34,1
Радиально-сверлильный станок	2	12,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	41,0	204,9
ПР2 ПР11-7123									
Настольно-сверлильный станок	8	4,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	40,9	204,3
Вертикально-сверлильный станок	3	8,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	27,3	136,6
ПР3 ПР11-7123									
Сварочная машина ПВ = 60%	1	7,0	0,50	0,70	1,02	0,95	3	15,2	45,6
Сварочная кабина	6	6,0	0,50	0,70	1,02	0,95	3	13,7	41,1
ПР4 ПР11-7123									
Фрезерный станок с ЧТП	2	18,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	61,5	307,3
Универсально-фрезерный станок	1	10,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	34,1	170,7
Токарно-револьверный станок	4	4,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	13,7	68,3
Токарно-винторезный станок	2	10,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	34,1	170,7
Полировальный станок	2	4,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	13,7	68,3
ПР5 ПР11-7123									
Вертикально-фрезерный станок	3	6,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	20,5	102,4
Универсально-фрезерный станок	1	10,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	34,1	170,7
Универсально-заточной станок	2	4,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	13,7	68,3
Плоскошлифовальный станок	1	16,0	0,20	0,50	1,73	0,89	5	54,6	273,1
Вентиляторы	2	18,0	0,75	0,80	0,75	0,90	7	38,0	265,9

Пример расчета для распределительного пункта ПР1.

Суммарная номинальная мощность электроприемников пункта

$$\sum P_n = \sum (n \cdot P_{ном}) = 9,0 + 4,0 + 15,0 + 8,0 + 24,0 = 60,0 \text{ кВт.}$$

Расчетные величины (на примере листогибочной машины)

$$k_u \cdot P_{\Sigma n} = 0,25 \cdot 15,0 = 3,8 \text{ кВт,}$$

$$k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 0,25 \cdot 15,0 \cdot 1,73 = 6,5 \text{ кВАр},$$

$$n \cdot P_H^2 = 1 \cdot 15,0^2 = 225,0.$$

Итоговые значения по пункту

$$\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H}) = 1,8 + 0,8 + 3,8 + 1,6 + 4,8 = 12,8 \text{ кВт},$$

$$\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg} \varphi) = 3,1 + 1,4 + 6,5 + 2,8 + 8,3 = 22,1 \text{ кВАр},$$

$$\sum (n \cdot P_H^2) = 27,0 + 8,0 + 225,0 + 16,0 + 288,0 = 564,0.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{cp}} = \frac{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H})} = \frac{22,1}{12,8} = 1,73.$$

Средневзвешенный коэффициент использования

$$k_{u,\text{cp}} = \frac{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H})}{\sum P_H} = \frac{12,8}{60,0} = 0,21.$$

Эффективное число электроприемников $n_э$

$$n_э = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum (n \cdot P_H^2)} = \frac{60,0^2}{564,0} = 6,4 \text{ шт},$$

принимаем $n_э = 6$ шт.

Для рассматриваемого пункта имеем

$$y_1 = 1,62; \quad y_2 = 1,28; \quad x_1 = 0,20; \quad x_2 = 0,30; \quad x = 0,21.$$

Коэффициенты расчетной нагрузки активной и реактивной мощности

$$k_p = 1,62 - \frac{1,62 - 1,28}{0,30 - 0,20} \cdot (0,21 - 0,20) \approx 1,58, \quad k'_p = 1,1.$$

Активная, реактивная и полная расчетные мощности электроприёмников

$$P_p = k_p \cdot \sum (k_u \cdot P_{\Sigma H}) = 1,58 \cdot 12,8 = 20,1 \text{ кВт},$$

$$Q_p = k'_p \cdot \sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg} \varphi) = 1,1 \cdot 22,1 = 24,3 \text{ кВАр},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{20,1^2 + 24,3^2} = 31,5 \text{ кВА}.$$

Расчётный ток пункта

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{31,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 47,9 \text{ A.}$$

Номинальный ток самого мощного электроприемника пункта

$$I_{\text{ном}}^{\text{max}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{15,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,50 \cdot 0,89} = 51,2 \text{ A.}$$

Пусковой ток самого мощного электроприемника пункта

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}} = 5 \cdot 51,2 = 256,1 \text{ A.}$$

Пиковый ток пункта

$$I_{\text{пик.п}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_p - K_{\text{u.max}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = 256,1 + (47,9 - 0,25 \cdot 51,2) = 291,2 \text{ A.}$$

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

Таблица 4.2 – Определение расчетных нагрузок производственного помещения по пунктам питания

Исходные данные							Расчетные величины			Эффективное число ЭП n_3 , шт	Коэффициент расчетной активной нагрузки k_p	Коэффициент расчетной реактивной нагрузки k_p'	Расчетная мощность			Расчетный ток I_p , А	Пиковый ток $I_{\text{пик}}$, А
По заданию технологов				Справочные данные			$k_{и} \cdot P_{\Sigma н}$, кВт	$k_{и} \cdot P_{\Sigma н} \cdot \text{tg}\varphi$, кВАр	$n \cdot P_{н}^2$				$P_p = k_p \cdot \Sigma(k_{и} \cdot P_{н})$, кВт	$Q_p = k_p' \cdot \Sigma(k_{и} \cdot P_{н} \cdot \text{tg}\varphi)$, кВАр	$S_p = \sqrt{(P_p^2 + Q_p^2)}$, кВА		
Наименование ЭП	Количество ЭП n , шт	Номинальная мощность, кВт		Коэффициент использования $K_{и}$	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	Коэффициент мощности $\text{tg}\varphi$											
		одного ЭП $P_{н}$	общая $P_{\Sigma н}$														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Пункт распределительный ПР1																	
1 Резьбонарезной полуавтомат	3	3,0	9,0	0,20	0,50	1,73	1,8	3,1	27,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Заточной станок (однофазный)	2	2,0	4,0	0,20	0,50	1,73	0,8	1,4	8,0	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Листозагибочная машина	1	15,0	15,0	0,25	0,50	1,73	3,8	6,5	225,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4 Точильно-шлифовальный станок	4	2,0	8,0	0,20	0,50	1,73	1,6	2,8	16,0	–	–	–	–	–	–	–	–
5 Радиально-сверлильный станок	2	12,0	24,0	0,20	0,50	1,73	4,8	8,3	288,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по ПР1	12	–	60,0	0,21	0,50	1,73	12,8	22,1	564,0	6	1,58	1,1	20,1	24,3	31,5	47,9	291,2

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Пункт распределительный ПР2																	
1 Настольно-сверлильный станок	8	4,0	32,0	0,20	0,50	1,73	6,4	11,1	128,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Вертикально-сверлильный станок	3	8,0	24,0	0,20	0,50	1,73	4,8	8,3	192,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по ПР2	11	–	56,0	0,20	0,50	1,73	11,2	19,4	320,0	9	1,43	1,1	16,0	21,3	26,7	40,5	171,6
Пункт распределительный ПР3																	
1 Сварочная машина ПВ = 60%	1	7,0	7,0	0,50	0,70	1,02	3,5	3,6	49,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Сварочная кабина	6	6,0	36,0	0,50	0,70	1,02	18,0	18,4	216,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по ПР3	7	–	43,0	0,50	0,70	1,02	21,5	21,9	265,0	6	1,13	1,1	24,3	24,1	34,2	52,0	90,0
Пункт распределительный ПР4																	
1 Фрезерный станок с ЧТП	2	18,0	36,0	0,20	0,50	1,73	7,2	12,5	648,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Универсально-фрезерный станок	1	10,0	10,0	0,20	0,50	1,73	2,0	3,5	100,0	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Токарно-револьверный станок	4	4,0	16,0	0,20	0,50	1,73	3,2	5,5	64,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4 Токарно-винторезный станок	2	10,0	20,0	0,20	0,50	1,73	4,0	6,9	200,0	–	–	–	–	–	–	–	–
5 Полировальный станок	2	4,0	8,0	0,20	0,50	1,73	1,6	2,8	32,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по ПР4	11	–	90,0	0,20	0,50	1,73	18,0	31,2	1044,0	7	1,54	1,1	27,7	34,3	44,1	67,0	362,0
Пункт распределительный ПР5																	
1 Вертикально-фрезерный станок	3	6,0	18,0	0,20	0,50	1,73	3,6	6,2	108,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Универсально-фрезерный станок	1	10,0	10,0	0,20	0,50	1,73	2,0	3,5	100,0	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Универсально-заточной станок	2	4,0	8,0	0,20	0,50	1,73	1,6	2,8	32,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4 Плоскошлифовальный станок	1	16,0	16,0	0,20	0,50	1,73	3,2	5,5	256,0	–	–	–	–	–	–	–	–
5 Вентиляторы	2	18,0	36,0	0,75	0,80	0,75	27,0	20,3	648,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по ПР5	9	–	88,0	0,43	0,70	1,02	37,4	38,3	1144,0	6	1,12	1,1	41,7	42,1	59,2	90,0	352,2

Окончание таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ВРУ																	
1 Пункт распределительный ПР1	12	–	60,0	0,21	0,50	1,73	12,8	22,1	564,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Пункт распределительный ПР2	11	–	56,0	0,20	0,50	1,73	11,2	19,4	320,0	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Пункт распределительный ПР3	7	–	43,0	0,50	0,70	1,02	21,5	21,9	265,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4 Пункт распределительный ПР4	11	–	90,0	0,20	0,50	1,73	18,0	31,2	1044,0	–	–	–	–	–	–	–	–
5 Пункт распределительный ПР5	9	–	88,0	0,43	0,70	1,02	37,4	38,3	1144,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого силовая нагрузка ВРУ	50		337,0	0,30	0,60	1,32	100,9	132,9	3337,0	34	0,75	–	75,6	99,6	125,1	–	–
Электрическое освещение	1	–	53,8	0,95	0,95	0,33	51,1	16,8					51,1	16,8	–	–	–
Итого нагрузка по ВРУ	51		390,8	0,39	0,71	0,98	152,0	149,7	–	–	–	–	126,7	116,4	172,1	261,5	523,7

4.3 Выбор защитных аппаратов и проводников

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

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

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

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

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

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

В качестве аппаратов защиты максимально используем воздушные автоматические выключатели. Воздушный автоматический выключатель предназначен для защиты электросети от токов тепловой перегрузки, токов коротких замыканий и может использоваться для нечастой коммутации сети.

В конструкцию автоматического выключателя включены два расцепителя. Тепловой – представляет собой биметаллическую пластину, которая под действием тока нагревается, изгибается и приводит в движение пружинный привод автомата. Расцепитель защищает сеть от токов тепловой перегрузки, то есть, от длительных токов значение которых выше уставки срабатывания. Электромагнитный (расцепитель максимального тока) – защищает сеть от токов короткого замыкания, представляет собой катушку индуктивности, включенную последовательно с сетью. При протекании по катушке токов выше уставки срабатывания, электромагнитное поле катушки вытягивает сердечник, который приводит в движение пружинный привод и отключает автомат.

Условия выбора выключателей [4, стр. 182]:

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

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

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

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

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

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

$I_{\text{ном.ав}}, I_{\text{ном.расц}}$ – номинальный ток автомата и 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.

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.

В методе выбора сечения жилы проводника по допустимому току нагрузки линии (по термическому действию тока) закладывается гарантированный срок службы линии более 20 лет, если на линии не будет аварийных ситуаций.

Условие выбора проводников [4, стр. 184]:

1. По нагреву расчетным током нагрузки: $I_{\text{доп}} \geq I_p / K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}$;
2. Согласование с аппаратом защиты: $I_{\text{доп}} \geq K_3 \cdot I_3 / K_{\text{п1}}$;
3. По допустимой потере напряжения: $\Delta U_{\text{р\%}} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l$,

где I_p – расчетный ток линии;

I_3 – номинальный ток или ток уставки срабатывания защитного аппарата;

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

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

ΔU_0 – потеря напряжения в трехфазных сетях 380 В;

l – длина рассматриваемой линии.

Примеры выбора аппаратуры и кабелей.

а) Выбор вводного автоматического выключателя подстанции

Расчетный ток нагрузки подстанции

$$I_{\text{р.пс}} = \frac{S_{\text{р.пс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{556,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 845,2 \text{ А.}$$

Номинальный ток трансформатора подстанции

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

Максимальный рабочий ток трансформатора подстанции

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

Номинальный ток самого мощного электроприемника
производственного помещения

$$I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{16,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,50 \cdot 0,89} = 54,6 \text{ А.}$$

Пусковой ток самого мощного электроприемника производственного
помещения

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}} = 5 \cdot 54,6 = 273,1 \text{ А.}$$

Пиковый ток подстанции

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.ПС}} &= I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{max.раб}} - K_{\text{u.max}} \cdot I_{\text{НОМ}}^{\text{max}}) = \\ &= 273,1 + (850,8 - 0,20 \cdot 54,6) = 1113,0 \text{ А.} \end{aligned}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА53-43 с параметрами $I_{\text{НОМ.ав}} = 1600 \text{ А}$, $I_{\text{тепл}} = 1000 \text{ А}$ [10, стр. 87-88].

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

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

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 1,25 \cdot 1113,0 = 1391,3 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1391,3}{1000} = 1,4,$$

принимаем $K = 5,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 5,0 \cdot 1000 = 5000,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 1391,3 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

б) Выбор секционного автоматического выключателя подстанции

Максимальный рабочий ток трансформатора

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

Расчетный ток секционного выключателя

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

Пиковый ток сборных шин

$$I_{\text{пик.СШ}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{р.СН}} - K_{\text{u.max}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = \\ = 273,1 + (595,6 - 0,20 \cdot 54,6) = 857,8 \text{ А.}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА74-40 с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 800 \text{ А}$, $I_{\text{тепл}} = 760 \text{ А}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 760 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{р.СВ}} = 1,1 \cdot 595,6 = 655,1 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1,25 \cdot 857,8 = 1072,2 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1072,2}{760} = 1,4,$$

принимаем $K = 5,5$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 5,5 \cdot 760 = 4180,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1072,2 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

в) Участок ТП – ВРУ

Расчетный ток нагрузки ВРУ

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{172,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 261,5 \text{ А.}$$

Пиковый ток ВРУ

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{max.раб}} - K_{\text{u.max}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = \\ = 273,1 + (261,5 - 0,20 \cdot 54,6) = 523,7 \text{ А.}$$

Намечаем к установке автомат марки АВВ Т5N с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 400 \text{ А}$, $I_{\text{тепл}} = 400 \text{ А}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 400 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{р}} = 1,1 \cdot 261,5 = 287,7 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 523,7 = 654,6 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{654,6}{400} = 1,6,$$

принимаем $K = 7,5$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{3.0} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 7,5 \cdot 400 = 3000,0 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 654,6 \text{ A}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки ВББШв-2(5×70) с $I_{\text{доп}} = 430 \text{ A}$ [9, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 430 \text{ A} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{261,5}{1,0 \cdot 1,0} = 261,5 \text{ A}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 430 \text{ A} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1 \cdot 400}{1,0} = 400,0 \text{ A},$$

где I_3 – ток уставки срабатывания защитного аппарата, А;

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

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

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

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,058 \cdot 261,5 \cdot 0,054 = 0,81\% < 5\%,$$

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

5% – допустимое значение потерь напряжения;

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

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

г) Вводной автомат ВРУ

Расчетный и пиковый ток нагрузки ВРУ

$$I_p = 261,5 \text{ A}, \quad I_{\text{пик}} = 523,7 \text{ A}.$$

Намечаем к установке автомат марки АВВ Т4N с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 320 \text{ A}$, $I_{\text{тепл}} = 320 \text{ A}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 320 \text{ A} > 1,1 \cdot I_{p.\text{CB}} = 1,1 \cdot 261,5 = 287,7 \text{ A}.$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1,25 \cdot 523,7 = 654,6 \text{ A}.$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{654,6}{320} = 2,0,$$

принимаем $K = 7,5$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 7,5 \cdot 320 = 2400,0 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 654,6 \text{ A}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

д) Участок ВРУ – ПР1

Расчетный и пиковый ток нагрузки ПР1

$$I_p = 47,9 \text{ A}, \quad I_{\text{пик}} = 291,2 \text{ A}.$$

Намечаем к установке автомат марки ВА57-35 с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 250 \text{ A}$, $I_{\text{тепл}} = 100 \text{ A}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 100 \text{ A} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 47,9 = 52,7 \text{ A}.$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 291,2 = 364,0 \text{ A}.$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{364,0}{100} = 3,6,$$

принимаем $K = 6$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 6 \cdot 100 = 600,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 364,0 \text{ А}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки АВВГнг-LS-1(5×120) с $I_{\text{доп}} = 213 \text{ А}$ [9, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 213 \text{ А} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{47,9}{1,0 \cdot 1,0} = 47,9 \text{ А}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 213 \text{ А} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1 \cdot 100}{1,0} = 100,0 \text{ А}.$$

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{\text{р\%}} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,176 \cdot 47,9 \cdot 0,164 = 1,38\% < 5\%.$$

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

е) Участок ПР1 – Листогибочная машина

Номинальный и пусковой ток нагрузки

$$I_{\text{ном}} = 51,2 \text{ А}, \quad I_{\text{пуск}} = 256,1 \text{ А}.$$

Намечаем к установке автомат марки ВА51-31 с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 100 \text{ А}$, $I_{\text{тепл}} = 80 \text{ А}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 80 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 51,2 = 56,3 \text{ А}.$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 256,1 = 384,1 \text{ А}.$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,5 \cdot I_{\text{пуск}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{384,1}{80} = 4,8,$$

принимаем $K = 6,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{э.о} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 6,0 \cdot 80 = 480,0 \text{ A} > 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 384,1 \text{ A}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки АВВГнг-LS-1(5×50) с $I_{\text{доп}} = 117 \text{ A}$.

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 117 \text{ A} > \frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2}} = \frac{51,2}{1,0 \cdot 0,65} = 78,8 \text{ A}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 117 \text{ A} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{п1}} = \frac{1 \cdot 80}{1,0} = 80,0 \text{ A}.$$

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

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

Таблица 4.3 – Выбор аппаратов защиты и проводников питающей сети

Участок	$\frac{I_p}{I_{пик} \cdot A}$	$1,1 \cdot I_p, A$	$1,25 \cdot I_{пик}, A$	Аппарат защиты			Способ прокладки	$K_{п1}$	$K_{п2}$	$\frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2} \cdot A}$	K_3	$\frac{K_3 \cdot I_3}{K_{п1} \cdot A}$	Кабель		L, м	$\cos\varphi$	$\Delta U_0, \%$	$\Delta U_p, \%$
				Тип	K	$\frac{I_{тепл}}{I_{э.о.} \cdot A}$							Марка	$I_{доп}, A$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Вводной выключатель ТП	$\frac{850,8}{1113,0}$	935,9	1391,3	ВА53-43	5	$\frac{1000}{5000}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Секционный выключатель ТП	$\frac{850,8}{857,8}$	655,1	1072,2	ВА74-40	5,5	$\frac{760}{4180}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ТП - ВРУ	$\frac{261,5}{523,7}$	287,7	654,6	ABB T5N	5	$\frac{320}{1600}$	Траншея	1	1	261,5	1	400,0	ВБ6ШВ - 2(5 × 70)	430	0,054	0,71	0,058	0,81
ВРУ – ПР1	$\frac{47,9}{291,2}$	52,7	364,0	ВА57-35	6	$\frac{100}{600}$	лотки, короб	1	1	47,9	1	100,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 120)	213	0,164	0,50	0,176	1,38
ВРУ – ПР2	$\frac{40,5}{171,6}$	44,6	214,6	ВА57-35	8	$\frac{80}{640}$	лотки, короб	1	1	40,5	1	80,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 25)	81	0,132	0,50	0,321	1,72
ВРУ – ПР3	$\frac{52,0}{90,0}$	57,2	112,5	ВА57-35	4	$\frac{63}{252}$	лотки, короб	1	0,75	69,4	1	63,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 25)	81	0,128	0,70	0,428	2,85
ВРУ – ПР4	$\frac{67,0}{362,0}$	73,7	452,5	ВА57-35	6	$\frac{100}{600}$	лотки, короб	1	0,75	89,3	1	100,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 50)	117	0,069	0,50	0,176	0,81
ВРУ – ПР5	$\frac{90,0}{352,2}$	99,0	440,3	ВА57-35	6	$\frac{100}{600}$	лотки, короб	1	0,75	120,0	1	100,0	АВВГнг-LS - 1(5 × 70)	150	0,010	0,50	0,134	0,12

Таблица 4.4 – Выбор аппаратов защиты и проводников электроприёмников

Приемник	$I_{ном},$ А	$I_{пуск},$ А	$1,1 \cdot I_{ном},$ А	$1,5 \cdot I_{пуск},$ А	Аппарат защиты				$K_{п1}$	$K_{п2}$	$\frac{I_p}{K_{п1} \cdot K_{п2}},$ А	K_3	$\frac{K_3 \cdot I_3}{K_{п1}},$ А	Кабель	
					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															
Резьбонарезной полуавтомат	10,2	51,2	11,3	76,8	ВА13-29	12,0	12,5	150,0	1,00	0,65	15,8	1,0	12,5	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Заточной станок (однофазный)	20,4	102,1	22,5	153,2	ВА13-29	12,0	25,0	300,0	1,00	0,65	31,4	1,0	25,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Листозагибочная машина	51,2	256,1	56,3	384,1	ВА51-31	6,0	80,0	480,0	1,00	0,65	78,8	1,0	80,0	АВВГнг-LS-1(5 × 50)	117
Точильно-шлифовальный станок	6,8	34,1	7,5	51,2	ВА13-29	12,0	8,0	96,0	1,00	0,65	10,5	1,0	8,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Радиально-сверлильный станок	41,0	204,9	45,1	307,3	ВА13-29	12,0	50,0	600,0	1,00	0,65	63,0	1,0	50,0	АВВГнг-LS-1(5 × 25)	81
Пункт распределительный ПР2															
Настольно-сверлильный станок	40,9	204,3	44,9	306,4	ВА13-29	6,0	63,0	378,0	1,00	0,70	58,4	1,0	63,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Вертикально-сверлильный станок	27,3	136,6	30,0	204,9	ВА13-29	12,0	31,5	378,0	1,00	0,70	39,0	1,0	31,5	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Пункт распределительный ПР3															
Сварочная машина ПВ = 60%	15,2	45,6	16,7	68,4	ВА13-29	6,0	20,0	120,0	1,00	0,85	17,9	1,0	20,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Сварочная кабина	13,7	41,1	15,1	61,7	ВА13-29	6,0	16,0	96,0	1,00	0,85	16,1	1,0	16,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Пункт распределительный ПР4															
Фрезерный станок с ЧТП	61,5	307,3	67,6	460,9	ВА51-31	6,0	80,0	480,0	1,00	0,85	72,3	1,0	80,0	АВВГнг-LS-1(5 × 25)	81
Универсально-фрезерный станок	34,1	170,7	37,6	256,1	ВА13-29	12,0	40,0	480,0	1,00	0,85	40,2	1,0	40,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Токарно-револьверный станок	13,7	68,3	15,0	102,4	ВА13-29	12,0	16,0	192,0	1,00	0,85	16,1	1,0	16,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Токарно-винторезный станок	34,1	170,7	37,6	256,1	ВА13-29	12,0	40,0	480,0	1,00	0,85	40,2	1,0	40,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Полировальный станок	13,7	68,3	15,0	102,4	ВА13-29	12,0	16,0	192,0	1,00	0,85	16,1	1,0	16,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Пункт распределительный ПР5															
Вертикально-фрезерный станок	20,5	102,4	22,5	153,6	ВА13-29	12,0	25,0	300,0	1,00	0,75	27,3	1,0	25,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Универсально-фрезерный станок	34,1	170,7	37,6	256,1	ВА13-29	12,0	40,0	480,0	1,00	0,75	45,5	1,0	40,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Универсально-заточной станок	13,7	68,3	15,0	102,4	ВА13-29	12,0	16,0	192,0	1,00	0,75	18,2	1,0	16,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Плоскошлифовальный станок	54,6	273,1	60,1	409,7	ВА51-31	6,0	80,0	480,0	1,00	0,75	72,8	1,0	80,0	АВВГнг-LS-1(5 × 25)	81
Вентиляторы	38,0	265,9	41,8	398,8	ВА13-29	6,0	63,0	378,0	1,00	0,75	50,6	1,0	63,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62

4.4 Оценка установившегося отклонения напряжений

Установившиеся отклонения напряжения являются показателем качества электрической энергии, который имеет ощутимое влияние на работу электроприемников и зависит от процесса потребления электрической энергии.

Отклонения напряжения считаются установившимися или как их еще называют «медленными» если в течении более 60 секунд поддерживался одинаковый уровень напряжения, при этом уровень напряжения не должен отличаться от номинального напряжения более чем на 10%.

Причиной возникновения положительных отклонений напряжений являются аварийные ситуации и отсутствие регулирования напряжения в электрической сети. Обычно, оборудования электросети настраивают для работы в часы максимума нагрузок, при этом завышают ступени устройств для регулирования уровня напряжения (на устройствах РПН или ПБВ) обеспечивая допустимый уровень напряжения. В часы минимальной нагрузки электросети, разброса мощности нет и уровень напряжения выходит из допустимых пределов.

Причин отрицательных отклонений напряжения намного больше. Во-первых, это неправильное управление трансформаторами сети (на устройствах РПН и ПБВ). Во-вторых, это значительные индуктивные нагрузки. В-третьих, не качественное проектирование линий электроснабжения до конечного электроприемника.

Возможность эксплуатации линии электроснабжения после проектирования определяют путем построения эпюры отклонения напряжения. В случае определения значительных отклонений, конструкция линии пересматривается. Как правило длину линии уменьшить не получается, поэтому увеличивают сечение ее проводников. В качестве дополнительных мер может быть использовано повышение напряжения в начале линии и компенсация реактивной мощности на ее конце.

Для силовых сетей промышленных предприятий отклонение напряжений не должно превышать $\pm 10\%$ от номинального значения [28]. На шинах 6-10 кВ подстанции, к которой присоединены распределительные сети, напряжение должно поддерживаться не ниже 105% номинального в период наибольших нагрузок и не выше 100% номинального в период наименьших нагрузок этих сетей.

Рассмотрим цепочку ГПП – ТП6 – ВРУ – ПР1 – ЭП №27, рисунок 4.2.

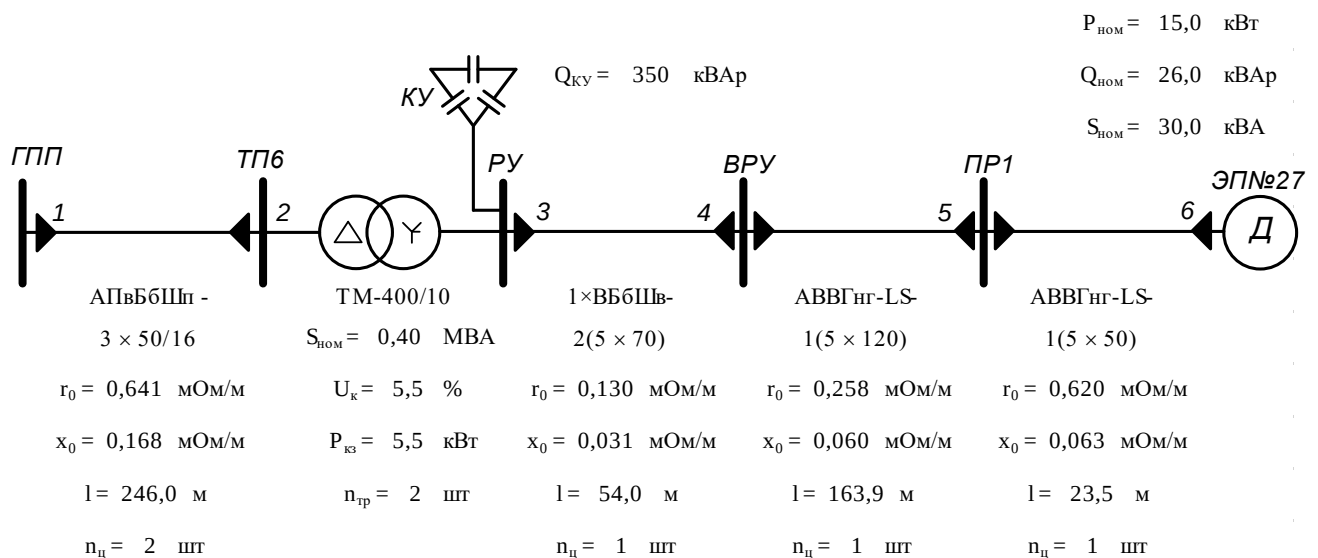


Рисунок 4.2 – Расчетная схема

Расчет максимального режима нагрузки

Участок 1-2

Активное и реактивное сопротивление участка 1-2

$$R_{12} = \frac{r_{12} \cdot l_{12}}{n_{ц}} = \frac{0,641 \cdot 246,0}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0788 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = \frac{x_{12} \cdot l_{12}}{n_{ц}} = \frac{0,168 \cdot 246,0}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0207 \text{ Ом}.$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 1-2

$$P_{12} = \sum P_{ц.ТП} = 547,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{12} = \sum Q_{ц.ТП} - Q_{КУ} = 447,3 - 350 = 97,3 \text{ кВАр}.$$

Потеря напряжения на участке 1-2

$$\Delta U_{12,\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{547,07 \cdot 0,0788 + 97,3 \cdot 0,0207}{10 \cdot 10,5^2} = 0,041\%.$$

Потеря напряжения на участке 1-2 в именованных единицах

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12,\%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,041 \cdot \frac{10500}{100} = 4,3 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 1-2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 4,3 = 10495,7 \text{ В.}$$

Участок 2-3

Активная и реактивная составляющая значения напряжения короткого замыкания трансформатора

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

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

Коэффициент загрузки трансформатора

$$\beta_T = \frac{S_{12}}{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{556,3}{2 \cdot 400} = 0,695.$$

Коэффициент мощности на участке 2-3

$$\cos \varphi = \frac{P_{23}}{S_{23}} = \frac{547,7}{556,3} = 0,98, \quad \sin \varphi = \frac{Q_{23}}{S_{23}} = \frac{97,3}{556,3} = 0,17.$$

Потеря напряжения на участке 2-3

$$\begin{aligned} \Delta U_{23,\%} &= \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi) = \\ &= 0,695 \cdot (1,375 \cdot 0,98 + 5,325 \cdot 0,17) + \frac{0,695^2}{200} \cdot (1,375 \cdot 0,17 - 5,325 \cdot 0,98) \\ &= \\ &= 1,577\%. \end{aligned}$$

Потеря напряжения на участке 2-3 в именованных единицах

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 1,577 \cdot \frac{10495,7}{100} = 165,5 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 2-3

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 10495,7 - 165,5 = 10330,2 \text{ В.}$$

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

$$U_3^{\text{HH}} = U_3 = 400 \cdot \frac{10330,2}{10500} = 393,5 \text{ В.}$$

Участок 3-4

Активное и реактивное сопротивление участка 3-4

$$R_{34} = \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,130 \cdot 54,0}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0070 \text{ Ом,}$$

$$X_{34} = \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,031 \cdot 54,0}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0017 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 3-4

$$P_{34} = P_{\text{ВРУ}} = 126,7 \text{ кВт,} \quad Q_{34} = Q_{\text{ВРУ}} = 116,4 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 3-4

$$\Delta U_{34,\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{126,7 \cdot 0,0070 + 116,4 \cdot 0,0017}{10 \cdot 0,394^2} = 0,699\%.$$

Потеря напряжения на участке 3-4 в именованных единицах

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34,\%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 0,699 \cdot \frac{393,5}{100} = 2,7 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 3-4

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 393,5 - 2,7 = 390,8 \text{ В.}$$

Участок 4-5

Активное и реактивное сопротивление участка 4-5

$$R_{45} = \frac{r_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,258 \cdot 163,9}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0423 \text{ Ом,}$$

$$X_{45} = \frac{x_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 163,9}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0099 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 4-5

$$P_{45} = P_{\text{ПР}} = 20,1 \text{ кВт,} \quad Q_{45} = Q_{\text{ПР}} = 24,3 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 4-5

$$\Delta U_{45,\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{20,1 \cdot 0,0423 + 24,3 \cdot 0,0099}{10 \cdot 0,391^2} = 0,714\%.$$

Потеря напряжения на участке 4-5 в именованных единицах

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45,\%} \cdot \frac{U_4}{100\%} = 0,714 \cdot \frac{390,8}{100} = 2,8 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 4-5

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 390,8 - 2,8 = 388,0 \text{ В.}$$

Участок 5-6

Активное и реактивное сопротивление участка 5-6

$$R_{56} = \frac{r_{56} \cdot l_{56}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,620 \cdot 23,5}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0146 \text{ Ом,}$$

$$X_{56} = \frac{x_{56} \cdot l_{56}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,063 \cdot 23,5}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0015 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 5-6

$$P_{56} = P_{\text{ном}} = 15,0 \text{ кВт,} \quad Q_{56} = Q_{\text{ном}} = 26,0 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 5-6

$$\Delta U_{56,\%} = \frac{P_{56} \cdot R_{56} + Q_{56} \cdot X_{56}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{15,0 \cdot 0,0146 + 26,0 \cdot 0,0015}{10 \cdot 0,388^2} = 0,171\%.$$

Потеря напряжения на участке 5-6 в именованных единицах

$$\Delta U_{56} = \Delta U_{56,\%} \cdot \frac{U_5}{100\%} = 0,171 \cdot \frac{388,0}{100} = 0,7 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 5-6

$$U_6 = U_5 - \Delta U_{56} = 388,0 - 0,7 = 387,3 \text{ В.}$$

Для расчёта режима минимальной нагрузки по графикам нагрузки предприятия ранее были определены коэффициенты минимальной нагрузки по активной и реактивной мощности.

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

Дальнейший расчет сведем в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Расчётные данные для построения эпюр отклонения напряжений

Максимальный режим нагрузки с учётом компенсации реактивной мощности					
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
P_i , кВт	547,7	547,7	126,7	20,1	15,0
Q_i , кВАр	97,3	97,3	116,4	24,3	26,0
S_i , кВА	556,3	556,3	172,1	31,5	30,0
R_i , Ом	0,079	—	0,0070	0,0423	0,0146
X_i , Ом	0,021	—	0,0017	0,0099	0,0015
$\cos\varphi$	—	0,985	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,175	—	—	—
β_T	—	0,695	—	—	—
U_a , %	—	1,375	—	—	—
U_p , %	—	5,325	—	—	—
ΔU_i , %	0,041	1,577	0,699	0,714	0,171
ΔU_i , В	4,3	165,5	2,7	2,8	0,7
U_i , В	10495,7	393,5	390,8	388,0	387,3
Максимальный режим нагрузки без учёта компенсации реактивной мощности					
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
P_i , кВт	547,7	547,7	126,7	20,1	15,0
Q_i , кВАр	447,3	447,3	116,4	24,3	26,0
S_i , кВА	707,2	707,2	172,1	31,5	30,0
R_i , Ом	0,079	—	0,0070	0,0423	0,0146
X_i , Ом	0,021	—	0,0017	0,0099	0,0015
$\cos\varphi$	—	0,775	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,633	—	—	—
β_T	—	0,884	—	—	—
U_a , %	—	1,375	—	—	—
U_p , %	—	5,325	—	—	—
ΔU_i , %	0,048	3,906	0,733	0,750	0,179
ΔU_i , В	5,0	410,0	2,8	2,9	0,7
U_i , В	10495,0	384,2	381,4	378,5	377,8
Минимальный режим нагрузки с учётом компенсации реактивной мощности					
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
P_i , кВт	219,1	219,1	50,7	8,0	15,0
Q_i , кВАр	60,3	60,3	72,2	15,1	26,0
S_i , кВА	227,2	227,2	88,2	17,1	30,0
R_i , Ом	0,079	—	0,0070	0,0423	0,0146
X_i , Ом	0,021	—	0,0017	0,0099	0,0015
$\cos\varphi$	—	0,964	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,266	—	—	—
β_T	—	0,284	—	—	—
U_a , %	—	1,375	—	—	—
U_p , %	—	5,325	—	—	—
ΔU_i , %	0,019	0,776	0,302	0,312	0,165
ΔU_i , В	1,9	77,6	1,2	1,2	0,7
U_i , В	9998,1	396,8	395,6	394,4	393,7

Окончание таблицы 4.5

Послеаварийный режим нагрузки с учётом компенсации реактивной мощности					
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
P_i , кВт	547,7	547,7	126,7	20,1	15,0
Q_i , кВАр	97,3	97,3	116,4	24,3	26,0
S_i , кВА	556,3	556,3	172,1	31,5	30,0
R_i , Ом	0,158	—	0,0070	0,0423	0,0146
X_i , Ом	0,041	—	0,0017	0,0099	0,0015
$\cos\varphi$	—	0,985	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,175	—	—	—
β_T	—	1,391	—	—	—
$U_{a\%}$	—	1,375	—	—	—
$U_{p\%}$	—	5,325	—	—	—
ΔU_i , %	0,082	3,130	0,722	0,738	0,177
ΔU_i , В	8,6	328,4	2,8	2,8	0,7
U_i , В	10491,4	387,2	384,4	381,5	380,9

Эпюры отклонения напряжений представлена на рисунке 4.3.

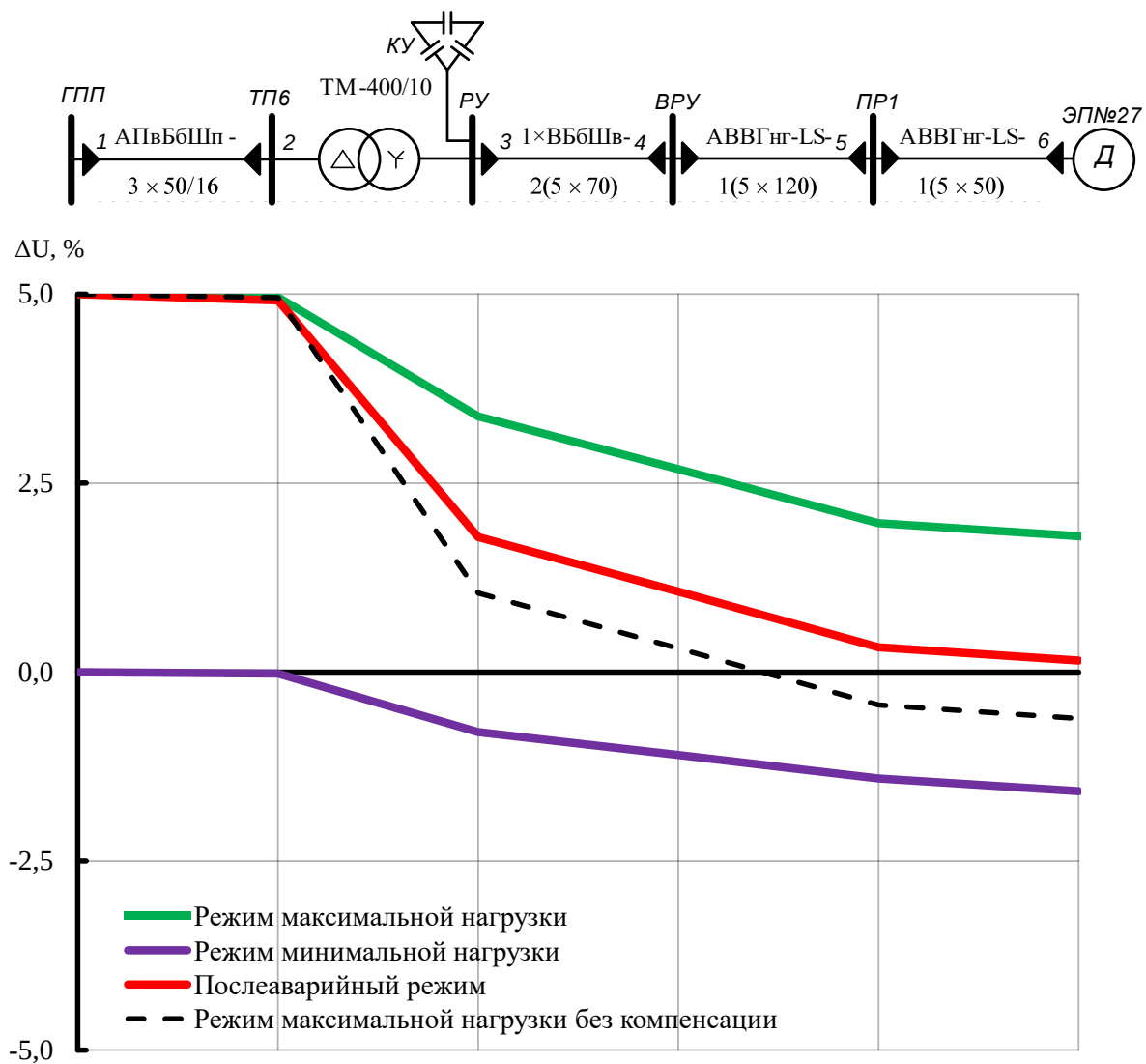


Рисунок 4.3 – Эпюры отклонения напряжений

Из эпюры отклонения напряжений следует, что во всех режимах работы, отклонения напряжения на вводах электроприемника не превышают величину допустимых отклонений $\pm 10\%$, а значит выбранные сечения кабельных линий пригодны для эксплуатации.

Проверка на потерю напряжения линий, питающих электроприемник, имеющий самые тяжелые условия эксплуатации, говорит о допустимом режиме работы этого электроприемника и других электроприемников производственного помещения, имеющих более легкие условия эксплуатации.

4.5 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В

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

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

Расчет токов КЗ ведем для участка ТП6 – ВРУ – ПР1 – ЭП №27.

Для расчетов токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения и на её основе схему замещения рисунок 4.4.

Сопротивления элементов.

Трансформаторы

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

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

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

TM-400/10	
$S_{ном} = 0,40 \text{ MBA}$	
$U_a = 1,4 \%$ $U_p = 5,3 \%$	
BA53-43 1000 / 5000,0	
ТШМС-0,66 2000 / 5	
ABB T5N 320 / 1600,0	
TK-40 400 / 5	
1×ВББШВ- 2(5 × 70)	
$l = 54,0 \text{ м}$ $n_{л} = 1 \text{ шт}$	
$r_0 = 0,130 \text{ МОм/м}$ $x_0 = 0,031 \text{ МОм/м}$	
BA57-35 100 / 600,0	
TK-40 100 / 5	
АВВГнг-LS- 1(5 × 120)	
$l = 163,9 \text{ м}$ $n_{л} = 1 \text{ шт}$	
$r_0 = 0,258 \text{ МОм/м}$ $x_0 = 0,060 \text{ МОм/м}$	
BA51-31 80 / 480,0	
АВВГнг-LS- 1(5 × 50)	
$l = 23,5 \text{ м}$ $n_{л} = 1 \text{ шт}$	
$r_0 = 0,620 \text{ МОм/м}$ $x_0 = 0,063 \text{ МОм/м}$	
ЭП №27	

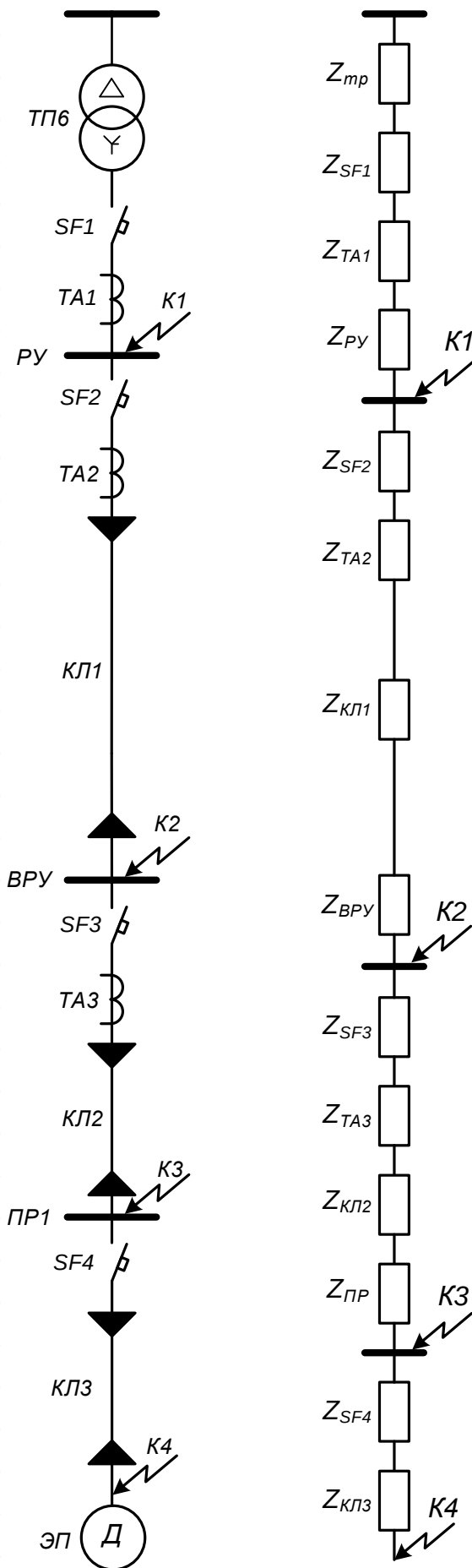


Рисунок 4.4 – Расчетная схема и схема замещения

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

$$Z_{PY} = R_{PY} + R_{H.K} = 0,015 + 0,021 = 0,036 \text{ мОм},$$

$$Z_{BPY} = R_{BPY} + R_{H.K} = 0,020 + 0,043 = 0,063 \text{ мОм},$$

$$Z_{ПР} = R_{ПР} + R_{H.K} = 0,030 + 0,064 = 0,094 \text{ мОм}.$$

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

$$Z_{SF1} = \sqrt{(R_{расц1} + R_{к1})^2 + X_{расц1}^2} = \sqrt{(0,10 + 0,15)^2 + 0,10^2} = 0,27 \text{ мОм},$$

$$Z_{SF2} = \sqrt{(R_{расц2} + R_{к2})^2 + X_{расц2}^2} = \sqrt{(0,15 + 0,40)^2 + 0,17^2} = 0,58 \text{ мОм},$$

$$Z_{SF3} = \sqrt{(R_{расц3} + R_{к3})^2 + X_{расц3}^2} = \sqrt{(1,30 + 0,75)^2 + 1,20^2} = 2,38 \text{ мОм},$$

$$Z_{SF4} = \sqrt{(R_{расц4} + R_{к4})^2 + X_{расц4}^2} = \sqrt{(2,40 + 1,00)^2 + 2,00^2} = 3,94 \text{ мОм}.$$

Сопротивления первичной обмотки трансформаторов тока с коэффициентом трансформации $>1000/5$ не учитывается, поэтому, сопротивления трансформаторов тока ТА1 не учитываем [1, стр. 157, табл. 7.2]

$$Z_{ТА2} = \sqrt{R_{ТА2}^2 + X_{ТА2}^2} = \sqrt{0,11^2 + 0,17^2} = 0,20 \text{ мОм},$$

$$Z_{ТА3} = \sqrt{R_{ТА3}^2 + X_{ТА3}^2} = \sqrt{2,70^2 + 1,70^2} = 3,19 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

$$R_{КЛ1} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{ц}} = \frac{0,130 \cdot 54,0}{1} = 7,0 \text{ мОм},$$

$$X_{КЛ1} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{ц}} = \frac{0,031 \cdot 54,0}{1} = 1,7 \text{ мОм},$$

$$Z_{КЛ1} = \sqrt{R_{КЛ1}^2 + X_{КЛ1}^2} = \sqrt{7,0^2 + 1,7^2} = 7,2 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

$$R_{KL1} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,130 \cdot 54,0}{1} = 7,0 \text{ мОм},$$

$$X_{KL1} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,031 \cdot 54,0}{1} = 1,7 \text{ мОм},$$

$$Z_{KL1} = \sqrt{R_{KL1}^2 + X_{KL1}^2} = \sqrt{7,0^2 + 1,7^2} = 7,2 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

$$R_{KL2} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,258 \cdot 163,9}{1} = 42,3 \text{ мОм},$$

$$X_{KL2} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 163,9}{1} = 9,9 \text{ мОм},$$

$$Z_{KL2} = \sqrt{R_{KL2}^2 + X_{KL2}^2} = \sqrt{42,3^2 + 9,9^2} = 43,4 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ3

$$R_{KL3} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,620 \cdot 23,5}{1} = 14,6 \text{ мОм},$$

$$X_{KL3} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,063 \cdot 23,5}{1} = 1,5 \text{ мОм},$$

$$Z_{KL3} = \sqrt{R_{KL3}^2 + X_{KL3}^2} = \sqrt{14,6^2 + 1,5^2} = 14,7 \text{ мОм}.$$

Пример расчёта тока короткого замыкания для точки К1.

Полное сопротивление до точки К1

$$Z_{K1} = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{SF1}} + Z_{\text{ТА2}} + Z_{\text{ру}} = 22,0 + 0,27 + 0 + 0,036 = 22,3 \text{ мОм}.$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{K1} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 22,3} = 10,4 \text{ кА}.$$

Постоянная времени

$$T_{a1} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{21,4}{314 \cdot 5,8} = 0,0118 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,0118} = 1,428.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К1

$$i_{уд,К1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{К1} = \sqrt{2} \cdot 1,428 \cdot 10,4 = 20,9 \text{ кА.}$$

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	Z_{Σ} , мОм	$k_{уд}$	T_a , с	I_K , кА	$i_{уд}$, кА
К1	22,3	1,428	0,0118	10,4	20,9
К2	30,4	1,163	0,0055	7,6	12,5
К3	79,4	1,005	0,0019	2,9	4,1
К4	98,1	1,002	0,0016	2,4	3,3

4.6 Построение карты селективности действия аппаратов защиты

Селективность – согласование характеристик защитных аппаратов, установленных последовательно так, чтобы в аварийной ситуации отключалась лишь та линия питания или часть схемы, в которой возникла неисправность.

Основным способом проверки селективности действия защитных аппаратов является построения карты селективности. Картой селективности называют графическое пространство, на котором нанесены характеристики защитных аппаратов, расположенные в той же последовательности, что и в электрической сети. По взаимному расположению защитных характеристик выявляют возможности одновременного срабатывания аппаратов и исключают их. Для повышения точности проверки, карту селективности дополняют токовыми характеристиками электрооборудования, длительный ток, пиковый ток, ток короткого замыкания.

Карта селективности действия аппаратов защиты строиться в логарифмической системе координат. Данные нагрузки и аппаратов защиты для построения карты селективности сведены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Данные для построения карты селективности

Узел нагрузки	ТП6	ВРУ	ПР1	ЭП №27
Расчетный ток I_p , А	850,8	261,5	47,9	–
Пиковый ток $I_{пик}$, А	1113,0	523,7	291,2	–
Номинальный ток $I_{ном}$, А	–	–	–	51,2
Пусковой ток $I_{пуск}$, А	–	–	–	256,1
Ток КЗ I_k , А	10353,6	7607,3	2907,2	2355,3
Тип аппарата	ВА53-43	ABB T5N	ВА57-35	ВА51-31
Условия срабатывания по току				
– при перегрузке $I_{ном.расц}$, А	1000	320	100	80,0
– при КЗ $I_{кз}$, А	5000,0	1600,0	600,0	480,0
Условия срабатывания по времени, с	0,4	0,20	0,05	0,02

Карта селективности представлена на рисунке 4.5.

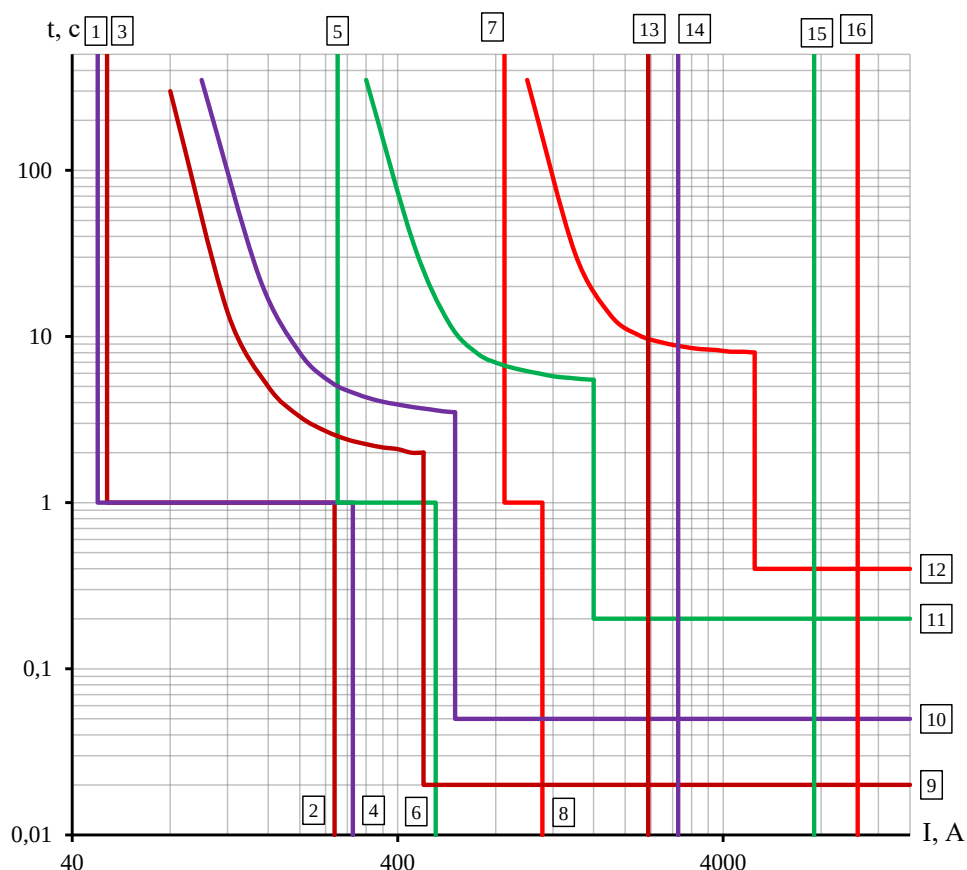


Рисунок 4.5 – Карта селективности действия аппаратов защиты

1 – номинальный ток электроприемника; 2 – пусковой ток электроприемника; 3 – расчетный ток ПР; 4 – пиковый ток ПР; 5 – расчетный ток ВРУ; 6 – пиковый ток ВРУ; 7 – расчетный ток ТП; 8 – пиковый ток ТП; 9 – автомат электроприемника; 10 – автомат ПР; 11 – автомат ВРУ; 12 – автомат ТП; 13 – КЗ в точке К4; 14 – КЗ в точке К3; 15 – КЗ в точке К2; 16 – КЗ в точке К1.

По карте видно, что селективность действия аппаратов защиты соблюдается. В случае короткого замыкания или перегрузки сработает именно тот аппарат защиты, который отвечает за аварийный участок.

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

Токи однофазных коротких замыканий имеют значительно меньшую величину и разрушительную способность, чем токи трехфазного, но при этом их опасность значительно выше. Защитный аппарат, выбранный по условию трехфазного тока короткого замыкания, может не сработать на однофазное КЗ, вследствие чего, корпус оборудования останется под напряжением и возникает вероятность поражения электрическим током.

Для предотвращения возможных последствий от однофазных токов короткого замыкания проводится проверка срабатывания защитных аппаратов на токи однофазных КЗ. Результаты проверки, могут привести к увеличению сечения питающего или нейтрального провода, а также замены защитного аппарата на более чувствительный.

Расчётная схема приведена на рисунке 4.6.

Сопротивления элементов.

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

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

Автоматические выключатели

$$R_{\text{SF1}} = 0,25 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{SF1}} = 0,10 \text{ мОм,}$$

$$R_{\text{SF2}} = 0,55 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{SF2}} = 0,17 \text{ мОм,}$$

$$R_{\text{SF3}} = 2,05 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{SF3}} = 1,20 \text{ мОм,}$$

$$R_{\text{SF4}} = 3,40 \text{ мОм,}$$

$$X_{\text{SF4}} = 2,00 \text{ мОм.}$$

Трансформатор тока ТА2-ТА3

$$R_{\text{ТА2}} = 0,11 \text{ мОм,}$$

$$R_{\text{ТА2}} = 0,17 \text{ мОм,}$$

$$R_{\text{ТА3}} = 2,70 \text{ мОм,}$$

$$R_{\text{ТА3}} = 1,70 \text{ мОм.}$$

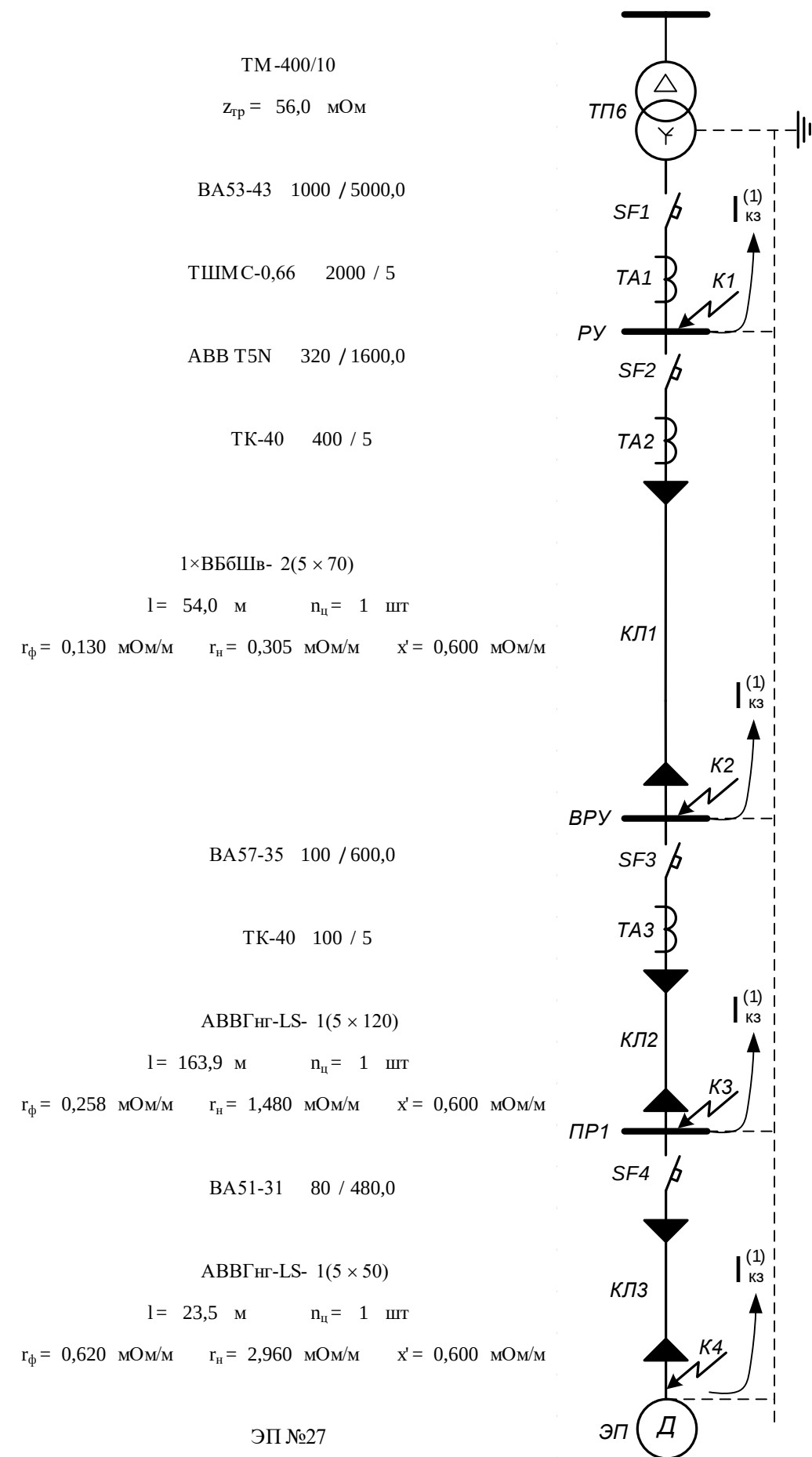


Рисунок 4.6 – Расчетная схема

Кабельная линия КЛ1

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\Pi}} = \frac{0,130 \cdot 54,0}{1} = 7,0 \text{ мОм},$$

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

$$R_{н1} = \frac{r_{н} \cdot l}{n_{\Pi}} = \frac{0,305 \cdot 54,0}{1} = 16,5 \text{ мОм},$$

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

$$X'_1 = \frac{x' \cdot l}{n_{\Pi}} = \frac{0,600 \cdot 54,0}{1} = 32,4 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 2} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\Pi}} = \frac{0,258 \cdot 163,9}{1} = 42,3 \text{ мОм},$$

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

$$R_{н2} = \frac{r_{н} \cdot l}{n_{\Pi}} = \frac{1,480 \cdot 163,9}{1} = 242,6 \text{ мОм},$$

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

$$X'_2 = \frac{x' \cdot l}{n_{\Pi}} = \frac{0,600 \cdot 163,9}{1} = 98,3 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ3

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 3} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\Pi}} = \frac{0,620 \cdot 23,5}{1} = 14,6 \text{ мОм},$$

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

$$R_{н3} = \frac{r_{н} \cdot l}{n_{\Pi}} = \frac{2,960 \cdot 23,5}{1} = 69,7 \text{ мОм},$$

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

$$X'_3 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 23,5}{1} = 14,1 \text{ мОм.}$$

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

$$R_{\text{д}} = 0,03 \text{ мОм.}$$

Сопротивление питающей системы [1, стр. 159]

$$X_{\text{с}} = 3,2 \text{ мОм.}$$

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

Для расчета тока однофазного КЗ рекомендуется упрощенная формула

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

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

Расчет тока короткого замыкания для точки К1.

Сопротивление петли фаза ноль до точки К1

$$\begin{aligned} Z_{\text{н1}} &= \sqrt{(R_{\text{д}} + R_{\text{SF1}})^2 + (X_{\text{с}} + X_{\text{SF1}})^2} = \\ &= \sqrt{(0,03 + 0,25)^2 + (3,2 + 0,10)^2} = 3,31 \text{ мОм.} \end{aligned}$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{\text{К1}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ф}}}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_{\text{н1}}} = \frac{220}{18,7 + 3,31} = 10,0 \text{ кА.}$$

Проверка условия

$$I_{\text{К1}}^{(1)} = 10,0 \text{ кА} > 3 \cdot I_{\text{ном.расц}} = 3 \cdot 1,000 = 3,0 \text{ кА.}$$

Проверка срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя

$$I_{\text{К1}}^{(1)} = 10,0 \text{ кА} > I_{\text{кз}} = 5,0 \text{ кА.}$$

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

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты расчёта однофазных токов короткого замыкания

Точка КЗ	$Z_{\Sigma},$ мОм	$I_{\text{к}},$ кА	$3 \cdot I_{\text{ном.расц}},$ кА	$I_{\text{кз}},$ кА
К1	3,3	10,0	3,0	5,0
К2	43,5	3,5	1,0	1,6
К3	342,7	0,609	0,30	0,600
К4	430,0	0,490	0,24	0,480

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А7Д	Зуев Леонид Петрович

Школа	ИШЭ	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 проводимого исследования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности

Перечень графического материала:

1. Карта сегментирования рынка
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСТН ШБИБ	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А7Д	Зуев Леонид Петрович		

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценка перспективности развития и планирование финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, представленного в рамках выпускной квалификационной работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет работы, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

В данном разделе будут решены следующие задачи:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Планирование работ по расчету электрической части проекта;
- Расчет бюджета работы по расчету электрической части проекта;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью данной работы является проектирование электрической части завода среднего машиностроения.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта

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

Для анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование проводится по двум основным критериям – размер потребителя и вид выпускаемой продукции. Карта сегментирования приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

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

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

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

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

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

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется

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

где K – конкурентоспособность конкурента;

B_i – вес показателя, в долях единицы;

B_i – балл i -го показателя.

В таблица 5.2 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 5.2 – Оценочная карта

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,05	4	2	2	0,20	0,10	0,10
2. Надежность	0,05	4	2	3	0,20	0,10	0,15
3. Безопасность	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,20
4. Функциональная мощность	0,20	5	2	3	1,00	0,40	0,60
5. Энергоэффективность	0,15	5	4	2	0,75	0,60	0,30
6. Современная элементная база	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15

Окончание таблицы 5.2

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	5	4	3	0,75	0,60	0,45
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	1	4	0,20	0,05	0,20
3. Цена	0,05	3	4	4	0,15	0,20	0,20
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	4	3	4	0,60	0,45	0,60
5. Наличие сертификации продукции	0,05	5	4	4	0,30	0,20	0,20
Итого	1,00	49	32	36	4,65	3,00	3,15

Сравнение производилось с конкурирующими заводами ООО «ГАЗ» (K_1) и «Автотор» (K_2). Данные предприятия наиболее близки по выпускаемой продукции.

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

5.1.3 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 5.3. Анализ производился на основе сравнения с конкурирующими заводами ООО «ГАЗ» и «Автотор».

Таблица 5.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Наличие инновационных способностей и возможности их реализации С2. Связи с поставщиками С3. Высокая ресурсоэффективность С4. Удобное местоположение предприятия С5. Огромные мощности	Сл1. Быстрое устаревание модельного ряда Сл2. Конкурентное давление Сл3. Устаревшая технология Сл4. Средние маркетинговые способности; Сл5. Текучка кадров
Возможности	Повышение конкурентоспособности за счет улучшения качества продукции и разработки новых технологий и видов продукции.	Качественная работа с потенциальными потребителями. Расширение списка дополнительных услуг. Разработка новых моделей. Обновление оборудования
В1. Разработка новых технологий и видов продукции В2. Поддержка государства В3. Развитие розничной и мелкооптовой торговли, сферы услуг В4. Расширение производственной линии		
Угрозы	Анализ деятельности новых игроков на рынке. Гибкая подстройка технологического процесса под требования потребителя. Своевременное обучение и повышение квалификации персонала. Диверсификация	Расширение списка дополнительных услуг. Разработка новых моделей.
У1. Конкуренция иностранных производителей У2. Замедление роста рынка У3. Изменение потребностей и вкусов покупателей У4. Экономическая ситуация в стране		

Для выявления соответствия сильных и слабых сторон внешним условиям строится интерактивная матрица проекта, таблица 5.4. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности	B1	+	0	0	–	+
	B2	+	–	–	–	–
	B3	+	+	+	+	+
	B4	+	+	+	–	+
Результат	B1C1C5; B2C1; B3C1C2C3C4C5; B4C1C2C3C5					
Угрозы	У1	0	+	+	+	+
	У2	0	0	–	–	+
	У3	+	–	–	–	0
	У4	+	–	–	–	–
Результат	У1C2C3C4C5 У2C5; У3C1; У4C1					
Слабые стороны проекта						
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности	B1	+	+	+	+	–
	B2	+	–	–	–	–
	B3	–	+	+	+	–
	B4	0	+	0	+	–
Результат	B1Сл1Сл2Сл3Сл4; B2Сл1; B3Сл2Сл3Сл4; B4Сл2Сл4					
Угрозы	У1	+	+	+	+	–
	У2	–	0	–	+	–
	У3	+	–	+	0	–
	У4	–	–	–	–	–
Результат	У1Сл1Сл2Сл3Сл4; У2Сл4; У3Сл1Сл3					

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

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

Для борьбы со слабыми сторонами необходимо:

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

5.2 Планирование выполнения работ по проекту

5.2.1 Структура работ в рамках проектной работы

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках проекта;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение план-графика выполнения проекта.

Для выполнения выпускной квалификационной работы формируется рабочая группа, в состав которой входят руководитель проекта и инженер.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной работы, приведен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Основные этапы	Исполнители
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Руководитель, инженер
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор технической литературы	Инженер
	4	Выбор методов расчёта	Инженер
Проведение расчётов	5	Определение электрических нагрузок	Инженер
	6	Расчёт схемы электроснабжения	Инженер
	7	Выбор и проверка оборудования	Инженер
	8	Расчёт токов КЗ и потерь напряжения	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка правильности полученных результатов	Руководитель, инженер
	10	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
Оформление отчета по проектной работе	11	Составление пояснительной записки	Инженер
	12	Подготовка комплекта чертежей	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников разработки проекта.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости (на примере составления и утверждения технического задания)

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел. дн.},$$

где t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн;

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы, чел.дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. На примере составления и утверждения технического задания

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ раб. дн.},$$

где $Ч$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости проектов составляет около 65 %.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни через коэффициент календарности

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,478,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Тогда длительность каждого из этапов работ в календарных днях (на примере составления и утверждения технического задания)

$$T_k = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,478 = 2 \text{ кал. дн.}$$

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 5.6.

На основе таблицы 5.6 составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (рисунок 5.1).

Таблица 5.6 – Временные показатели выполнения проектной работы

№ раб	Название работы	Трудоёмкость работ						Т _р , раб.дн.	Т _к , кал.дн.
		t _{min} , чел.дн.		t _{max} , чел.дн.		t _{ож} , чел.дн.			
		Рук-тель	Инженер	Рук-тель	Инженер	Рук-тель	Инженер		
1	Составление и утверждение технического задания	1	–	2	–	1,4	–	1,4	2
2	Календарное планирование выполнения НИР	2	2	4	4	2,8	2,8	2,8	4
3	Обзор технической литературы	–	3	–	5	–	3,8	3,8	6
4	Выбор методов расчёта	–	2	–	3	–	2,4	2,4	4
5	Определение электрических нагрузок	–	12	–	15	–	13,2	13,2	20
6	Расчёт схемы электроснабжения	–	12	–	15	–	13,2	13,2	20
7	Выбор и проверка оборудования	–	8	–	10	–	8,8	8,8	13
8	Расчёт токов КЗ и потерь напряжения	–	4	–	7	–	5,2	5,2	8
9	Оценка правильности полученных результатов	3	3	5	5	3,8	3,8	3,8	6
10	Оценка эффективности полученных результатов	4	4	7	7	5,2	5,2	5,2	8
11	Составление пояснительной записки	–	8	–	12	–	9,6	9,6	14
12	Подготовка комплекта чертежей	–	10	–	13	–	11,2	11,2	17
Итого		10	68	18	96	13,2	79,2	80,6	122

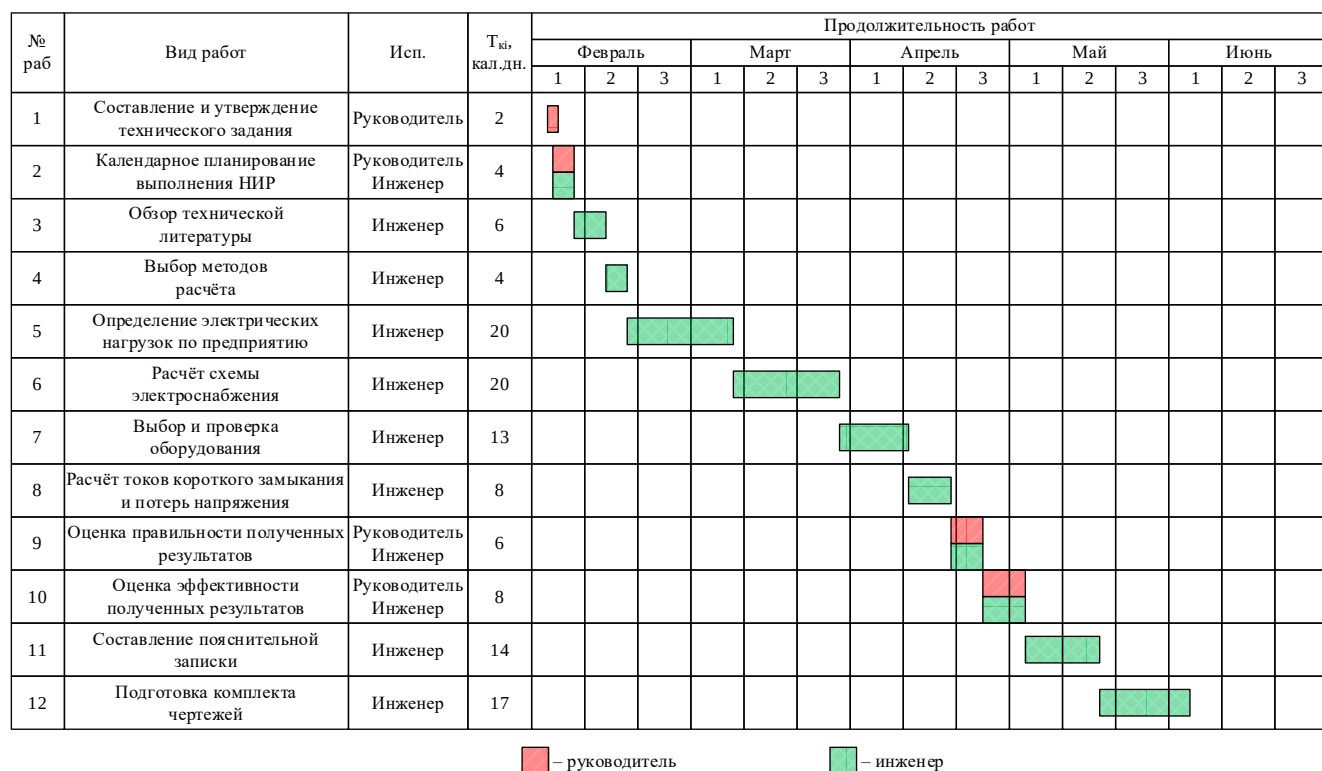


Рисунок 5.1 – Календарный план-график выполнения проекта

5.3 Бюджет проектной работы

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на амортизацию оборудования;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

5.3.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, расходных материалов для используемого оборудования, канцелярские принадлежности, носители информации... (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Затраты на материалы

Материалы	Количество	Цена за единицу, руб	И _м , руб
Флэш-память	1	1200,0	1200,0
Упаковка бумаги А4 500 листов	1	600,0	600,0
Канцтовары	–	800,0	800,0
Картридж для принтера	1	2500,0	2500,0
Итого $Z_{\text{мат}}$, руб	–	–	5100,0

5.3.2 Расчет амортизации оборудования

При выполнении проекта использовался ноутбук и принтер. Срок полезного использования данного оборудования по паспорту составляет 3 года.

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Норма амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33 \text{ руб},$$

где n – срок полезного использования в годах.

Общая сумма амортизационных отчислений

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 58200,0}{12} \cdot 4,07 = 6574,4 \text{ руб},$$

где I – итоговая сумма (таблица 5.8), руб;

m – время использования, мес.

Дальнейший расчёт сведем в таблицу 5.8

Таблица 5.8 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	Кол-во, шт	n , год	Цена за единицу, руб	I , руб	H_A , %	m , мес	A , руб
1. Компьютер	1	3	58200,0	58200,0	0,33	4,07	6574,4
2. Принтер	1	3	8600,0	8600,0	0,33	4,07	971,5
Итого	–	–	–	66800,0	–	–	7545,9

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей

В настоящую статью включается основная заработная плата руководителя проекта и инженера. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Баланс рабочего времени исполнителей приведен в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
– отпуск	48	24
– невыходы по болезни	5	10
Действительный годовой фонд рабочего времени F_d	246	213

Месячный должностной оклад исполнителей проекта

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,20) \cdot 1,3 = 51285,0 \text{ руб.},$$

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,20) \cdot 1,3 = 33150,0 \text{ руб.},$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент (30% от $З_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок (15÷20% от $З_{тс}$);

k_p – районный коэффициент (1,3 для Томска).

Среднедневная заработная плата исполнителей проекта

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285,0 \cdot 10,4}{246} = 2168,1 \text{ руб.},$$

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150,0 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.},$$

где M – количество месяцев без отпуска в течение года (для шестидневной рабочей недели руководителя при отпуске в 48 раб.дней 10,4 месяца; для пятидневной рабочей недели инженера при отпуске в 24 раб.дней 11,2 месяца;), дней;

F_d – среднее количество рабочих дней в году (таблица 5.9).

Основная заработная плата исполнителей проекта

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p = 2168,1 \cdot 13,2 = 28619,5 \text{ руб.},$$

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p = 1743,1 \cdot 79,2 = 138053,4 \text{ руб.},$$

где T_p – продолжительность работ по проекту (таблица 5.6), раб.дн.

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} = 28619,5 \cdot 0,15 = 4292,9 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} = 138053,4 \cdot 0,15 = 20708,0 \text{ руб.},$$

где $K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Итоговая заработная плата исполнителей проекта

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 28619,5 + 4292,9 = 32912,5 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 138053,4 + 20708,0 = 158761,4 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы исполнителей сведем в таблицу 5.10

Таблица 5.10 – Расчет заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб	$K_{\text{пр}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб	$T_{\text{р}}$, раб.дн	$Z_{\text{осн}}$, руб	$K_{\text{доп}}$	$Z_{\text{доп}}$, руб	$Z_{\text{зп}}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,20	1,3	51285,0	2168,1	13,2	28619,5	0,15	4292,9	32912,5
Инженер	17000	0,3	0,20	1,3	33150,0	1743,1	79,2	138053,4	0,15	20708,0	158761,4
Итого	–	–	–	–	–	–	–	166672,9	–	25000,9	191673,9

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Общая ставка взносов в текущем году составляет 30 процентов (ст. 425, 426 НК РФ), в том числе:

- 22 % – на пенсионное страхование;
- 5,1 % – на медицинское страхование;
- 2,9 % – на социальное страхование.

При этом сумма взносов к уплате зависит от того, превысил доход установленный лимит или нет.

Отчисления во внебюджетные фонды

$$З_{внеб} = K_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (166672,9 + 25000,9) = 57502,2 \text{ руб.},$$

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

5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Накладные расходы

$$\begin{aligned} З_{накл} &= K_{нр} \cdot (З_{мат} + З_{ам} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) = \\ &= 0,16 \cdot (5100,0 + 7545,9 + 166672,9 + 2500,9 + 57502,2) = 41891,5 \text{ руб.}, \end{aligned}$$

где $K_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

5.3.6 Формирование бюджета затрат проектной работы

Рассчитанная величина затрат проектной работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат сведено в таблицу 5.11.

Таблица 5.11 – Бюджет затрат на выполнение проекта

№ статьи	Наименование статей расхода	Сумма, руб.	Примечание
1	Материальные затраты $Z_{\text{мат}}$	5100,00	Пункт 5.2.3.1
2	Амортизация основных фондов $Z_{\text{ам}}$	7545,93	Пункт 5.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате $Z_{\text{осн}}$	166672,94	Пункт 5.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате $Z_{\text{осн}}$	25000,94	Пункт 5.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды $Z_{\text{внеб}}$	57502,16	Пункт 5.2.3.4
6	Накладные расходы $Z_{\text{накл}}$	41891,52	Пункт 5.2.3.5
Бюджет затрат проекта $Z_{\text{пр}}$, руб		303713,49	Сумма ст. 1-6

Из расчетов видно, что большую долю всех затрат из бюджета затрат составляют заработные платы инженера и руководителя. Самые малые доли от общих затрат имеют материальные затраты и амортизационные отчисления.

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проектной работы

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности проектной работы. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности проектной работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения технической задачи. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной работы рассмотрены варианты исполнения схем электроснабжения предприятия по магистральной и смешанной схемам. В текущей работе была произведена разработка радиальной схемы

электроснабжения. Стоимость исполнения всех трёх вариантов приведена в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Стоимость исполнения различных вариантов схем

Радиальная схема (текущий прокт) $\Phi_{\text{исп.1}}$, руб	Магистральная схема $\Phi_{\text{исп.2}}$, руб	Смешанная схема, $\Phi_{\text{исп.3}}$, руб
303713,49	276103,17	289250,94

Интегральный финансовый показатель разработок

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{303713,49}{303713,49} = 1,$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{276103,17}{303713,49} = 0,91,$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{289250,94}{303713,49} = 0,95,$$

где $\Phi_{\text{исп.i}}$ – стоимость i-го варианта исполнения, руб;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения из трёх вариантов, руб.

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 2 считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности. Текущий вариант наименее приемлемый.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения определяется путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра, таблица 5.13.

Таблица 5.13 – Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

Критерий оценки	Вес критерия	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	2	3	4	5
1. Безопасность	0,05	5	5	5
2. Удобство	0,20	5	3	4
3. Монтаж	0,30	4	5	4
4. Энергоэффективность	0,10	4	3	4
5. Надежность	0,30	5	3	4
6. Материалоёмкость	0,05	2	5	4
Итого	1,00	4,45	3,80	4,05

Интегральный показатель ресурсоэффективности

$$I_{p}^{\text{исп.}i} = \sum a_i \cdot b_i,$$

$$I_{p}^{\text{исп.}1} = 0,05 \cdot 5 + 0,20 \cdot 5 + 0,30 \cdot 4 + 0,10 \cdot 4 + 0,30 \cdot 5 + 0,05 \cdot 2 = 4,45,$$

$$I_{p}^{\text{исп.}2} = 0,05 \cdot 5 + 0,20 \cdot 3 + 0,30 \cdot 5 + 0,10 \cdot 3 + 0,30 \cdot 3 + 0,05 \cdot 5 = 3,80,$$

$$I_{p}^{\text{исп.}3} = 0,05 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,30 \cdot 4 + 0,10 \cdot 4 + 0,30 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 4,05,$$

где a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка разработки (устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания).

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя

$$I_{\text{исп.}1} = \frac{I_{p}^{\text{исп.}1}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.}1}} = \frac{4,45}{1} = 4,45,$$

$$I_{\text{исп.}2} = \frac{I_{p}^{\text{исп.}2}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.}2}} = \frac{3,80}{0,91} = 4,18,$$

$$I_{\text{исп.}3} = \frac{I_{p}^{\text{исп.}3}}{I_{\text{фин}}^{\text{исп.}3}} = \frac{4,05}{0,95} = 4,25.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта

$$\mathcal{E}_{\text{ср.исп.}i} = \frac{I_{\text{исп.}i}}{I_{\text{max}}}.$$

Расчёт сравнительной эффективности проекта сведём в таблицу 5.14.

Таблица 5.14 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	2	3	4
1. Интегральный финансовый показатель разработки	1,00	0,91	0,95
2. Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	3,80	4,05
3. Интегральный показатель эффективности	4,45	4,18	4,25
4. Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,94	0,96

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее ресурсоэффективным является вариант радиальной схемы, наиболее финансовоэффективным является вариант магистральной схемы.

5.5 Выводы по разделу

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

1) Проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности.

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

2) Проведён анализ конкурентных технических решений.

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

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

3) SWOT-анализ

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

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

4) Планирование выполнения работ по проекту

В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 122 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 79 дня; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 13 дней.

5) Формирование бюджета.

Также был сформирован бюджет затрат на разработку проекта, который составил 303713,49 руб.

Расчет показал, что трудовые затраты составляют основную часть от стоимости проекта. Минимальные затраты составляют материалы и амортизационные отчисления.

6) Определение ресурсоэффективности проектной работы.

Значение интегрального финансового показателя проектной работы составляет 1,0, что является показателем того, что текущий проект является финансово невыгодным по сравнению с аналогами.

Значение интегрального показателя ресурсоэффективности проектной работы составляет 4,45, по сравнению со значениями 3,80 и 4,05 конкурирующих проектов, и является наиболее высоким, что говорит об эффективности использования рассматриваемого технического проекта.

Значение интегрального показателя эффективности проектной работы составляет 4,45, по сравнению с 4,18 и 4,25, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в проектной работе, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

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	
3-5А7Д		Зуев Леонид Петрович	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Разработка системы электроснабжения завода среднего машиностроения с детальной разработкой механического цеха	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение - Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. - Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации	<u>Объект исследования</u> электротехническое оборудование цеха <u>Область применения</u> механический цех <u>Рабочая зона:</u> производственное помещение механического цеха <u>Размеры помещения</u> 150х48 м (7200 м²) <u>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</u> 50 электроприёмников различного назначения: вентиляторы, металлообрабатывающие станки, сварочное оборудование <u>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</u> металлообработка, сварочные работы
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 № 426-ФЗ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования ГОСТ 21753-76 Система «человек-машина». Рычаги управления. Общие эргономические требования
2. Производственная безопасность при эксплуатации: Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	Вредные производственные факторы: - Отклонение показателей микроклимата; - Повышенный уровень шума; - Повышенный уровень вибрации; - Недостаточный уровень освещения; Опасные производственные факторы: - Поражение электрическим током; - Механические травмы от движущихся механизмов и машин. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: - Вентиляция и отопление; - Звукоизоляция, наушники и беруши; - Настройка оборудования, амортизация оборудования; - Местное освещение; - Заземление, УЗО, контроль изоляции; - Защитные очки и маски, кожаные и ограждения, правильная организация рабочего места.

3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<i>Воздействие на литосферу</i> <u>Остатки лома, применение смазочно-охлаждающих жидкостей</u> <i>Воздействие на гидросферу</i> <u>Сточные воды, образуемые при мойке оборудования</u> <i>Воздействие на атмосферу</i> <u>Абразивная пыль, сварочная аэрозоль, растворители</u>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС: <u>взрыв, наводнение, пожар</u> Наиболее типичная ЧС: <u>пожар</u>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А7Д	Зуев Леонид Петрович		

6 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. В данном разделе будут выявлены и проанализированы эти факторы, рассмотрено их влияние на человека и способы борьбы с ними.

В выпускной квалификационной работе разрабатывается система электроснабжения завода среднего машиностроения с детальной проработкой схемы электроснабжения механического цеха. Проектируемое предприятие располагается на территории Архангельской области.

В работе рассмотрена работа персонала механического цеха завода на предмет выявления опасных и вредных факторов. Поставлена задача уменьшить или исключить влияние этих факторов на рабочих, создать комфортные и безопасные условия труда.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовую основу обеспечения безопасности труда составляют соответствующие законы и постановления, принятые представительными органами Российской Федерации, а также подзаконные акты: указы Президента РФ, постановления, принимаемые правительствами субъектов РФ и входящих в нее государственных образований, местными органами власти и специально уполномоченными органами. Среди них, прежде всего, Министерство природных ресурсов, Министерство здравоохранения и социального развития России, МЧС России, территориальные органы.

Основой правового законодательства Российской Федерации в области обеспечения безопасности труда является Конституция РФ – основной закон

государства. Все законы и иные правовые акты, принимаемые в России, не должны противоречить Конституции РФ.

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».

На рассматриваемом предприятии с рабочими заключается индивидуальный трудовой договор. Часы работы с 09:00 до 18:00, с перерывом на обед с 13:00 до 14:00.

Рабочие цеха застрахованы от временной нетрудоспособности и от несчастных случаев на производстве.

Так как цех не является основным на производстве, то работа в выходные и праздничные дни в цехе не предусмотрена, Дополнительных компенсаций по данному виду деятельности не предусмотрены. Дополнительные оплачиваемые отпуска не предусмотрены.

Предусмотрен полный отпуск один раз в год.

Рабочее место становщика оснащается: одним или несколькими станками с комплектом принадлежностей, комплектом технологической оснастки, состоящим из приспособлений, режущего, измерительного и вспомогательного инструмента, комплектом технической документации, постоянно находящейся на рабочем месте, комплектом предметов ухода за станком и рабочим местом, инструментальными шкафами, подставками, планшетами, стеллажами.

В обязанности становщика входят смазка станка и уборка стружки. Становщик периодически должен производить проверку точности работы станка и его регулировку в соответствии с рекомендациями, изложенными в руководстве по эксплуатации.

6.2 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 6.1.

Таблица 6.1 – Основные опасные и вредные факторы.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Отклонение показателей микроклимата	ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [3]; СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4]; СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [5]
2. Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности» [6]; СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4]; СП 51.13330.2011 «Защита от шума» [16]
3. Повышенный уровень вибрации	ГОСТ 12.1.012 – 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [7]; СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4]
4. Недостаточный уровень освещения	ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» [10]; СП.52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [9]
5. Электробезопасность	ГОСТ 12.1.038 – 82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [11]; ПУЭ [15]; Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н [12]; ПОТЭУ [13]
6. Механические травмы	ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [14]

6.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат помещений механического цеха – это климат внутренней среды этих помещений.

Высокая температура воздуха в производственных помещениях при сохранении других параметров вызывает быструю утомляемость работающего, перегрев организма и большое потовыделение.

Низкая температура может вызвать местное и общее охлаждение организма и стать причиной ряда простудных заболеваний — ангины, катара верхних дыхательных путей.

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [3] и СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4].

Категория работ в рассматриваемом цехе Пб (работы с интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/ч (233-290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей (до 10 кг) и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением).

Допустимые величины показателей микроклимата, таблица 6.2, устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины, таблица 6.3.

Таблица 6.2 – 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 _{опт}				Если t° < t° _{опт}	Если t° > t° _{опт}
Холодный	Пб	15,0 – 16,9	19,1 – 22,0	14,0 – 23,0	15 – 75	0,2	0,4
Теплый	Пб	16,0 – 18,9	22,1 – 27,0	15,0 – 28,0	15 – 75	0,2	0,5

Таблица 6.3 – 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	Пб	17,0 – 19,0	16,0 – 20,0	60 – 40	0,2
Теплый	Пб	19,0 – 21,0	18,0 – 22,0	60 – 40	0,2

Для обеспечения микроклимата в механическом цехе устраивают системы отопления, совмещенные с приточной вентиляцией. В нерабочее время для дежурного отопления может быть использована рециркуляция воздуха. Нормы производственной вентиляции установлены согласно СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [5].

Для отопления должны применяться нагревательные приборы с гладкой, легко очищаемой от пыли, поверхностью. В производственных и вспомогательных помещениях применение бытовых и самодельных электронагревательных приборов запрещается.

Аэрацию производственных помещений следует проводить путем открывания окон, светоаэрационных фонарей и отверстий вентиляционных шахт по специально разработанной в организации инструкции с учетом времени года и розы ветров. При этом необходимо исключить возможность попадания вредных веществ из одного помещения в другое.

Кроме того, при выполнении некоторых видов работ предусмотрены индивидуальные средства защиты, например спецодежда сварщиков.

6.2.2 Повышенный уровень шума

В механическом цехе основным оборудованием являются металлорежущие станки с уровнем шума 60-110 дБ.

Воздействуя на организм человека как мощный стресс-фактор, шум может вызывать изменения реактивности центральной нервной системы, вследствие чего происходит расстройство регулирующих функций органов и систем, обуславливая развитие профессиональных заболеваний.

Развитие профессиональных заболеваний, связанных с неблагоприятным действием шума, характеризуется медициной как комплекс различных симптомов.

С экономической точки зрения неблагоприятное воздействие шума определяется: дополнительными потерями в результате снижения производительности труда; увеличением числа ошибок в работе;

необходимостью затрат на медико-профилактические реабилитационные мероприятия.

Общие требования безопасности приведены в ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности» [6]. Шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значение которых приведены в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4].

Общие требования по шумовой безопасности сведены в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – 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	75
Работа, требующая сосредоточенности	103	91	83	77	73	70	68	66	64	

Снижения шума в механическом цехе можно добиться следующими методами:

- устранение или уменьшение шума и вибрации непосредственно в источнике их возникновения;
- локализация источников шума и вибрации средствами звуко- и виброизоляции; звуко- и вибропоглощения;
- рациональное размещение технологического оборудования, машин, механизмов;
- акустическая обработка помещений (снижение плотности звуковой энергии в помещении, отражений от стен, перекрытий, оборудования и т.п.);
- внедрение малозумных технологических процессов и оборудования, оснащение машин и механизмов дистанционным управлением, создание рационального режима труда и отдыха работающим и т.д.;
- применение средств индивидуальной защиты;

При невозможности или неэкономичности реализации противошумных мероприятий, а также для работы в аварийных условиях работающие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты от шума: противошумными вкладышами (Беруши), наушниками и шлемофонами.

Эффективность этих средств зависит от их конструкции, качества используемых материалов, силы прижатия, выполнения правил эксплуатации.

6.2.3 Повышенный уровень вибрации

Источниками вибрации в цехе являются металлообрабатывающее оборудование и вентиляция, а также оборудование, пневмо- и электроинструменты ударного, ударно – вращательного, ударно – поворотного и вращательного действия.

По способу передачи на человека (в зависимости от характера контакта с источником) производственная вибрация подразделяется на общую и локальную. Общая вибрация – это вибрация, передающаяся на тело стоящего или сидящего человека через опорные поверхности (пол, сиденье и т. д.). Локальная вибрация – вибрация, передающаяся через руки человека, воздействующая на ноги сидящего человека или предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями.

Основные проявления виброболезни: нарушение центральной нервной и сердечно-сосудистой системы, появление головных болей, головокружение, повышенная возбудимость, снижение работоспособности, нарушение сна, расстройство вестибулярного аппарата. Длительное воздействие вибрации может привести к стойким патологическим изменениям: поражение косо- суставного аппарата, функционально расстройство внутренних органов, опущение органов малого таза, окостенение сухожилий, мышц и так далее.

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» [7], СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [4].

Общие требования по вибрационной безопасности для электротехнического персонала сведены в таблицу 6.5.

Таблица 6.5 – Общие требования по вибрационной безопасности

Вид вибрации	Допустимый уровень вибростойкости, дБ, в октавных полосах с среднегеометрическими частотами, Гц					
	2	4	8	16	31,5	63
Технологическая	100	91	85	84	84	84

Для защиты от локальной вибрации, которую невозможно устранить техническими методами, применяются средства индивидуальной защиты: рукавицы, перчатки, специальная обувь.

Наиболее действенным способом борьбы с общей вибрацией, является устранение или снижение вибрации непосредственно в источнике образования.

Борьба с вибрацией эффективно проводится с помощью вибропоглощающих и виброизолирующих материалов и специальных устройств. К вибропоглощению относят вибродемпфирование и виброгашение.

6.2.4 Недостаточный уровень освещения

От того насколько качественно организовано освещение в производственных цехах и помещениях на промышленных предприятиях зависит безопасность труда работников, а также их производительность. Недостаточное освещение повышает риск травматизма на производстве, способствует ухудшению самочувствия и здоровья сотрудников предприятия. Кроме того, плохая освещенность может сказаться также на производительности предприятия, повышая вероятность выпуска брака.

Большинство металлорежущих станков имеет три основных зоны, требующие хорошего освещения: зону обработки изделия и его контрольных промеров, зону лимбов и зону расчетной таблицы режимов работы.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам, предусмотренным СП.52.13330.2016 «Естественное и

искусственное освещение» [9], ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» [10].

Требования к освещению для рабочих мест указаны в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Нормы освещённости помещений цеха

Наименование помещения	$E_{\text{экс}}$, 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 $E_{\text{экс}}$ – эксплуатационная освещенность;

U_0 – равномерность освещенности;

UGR – объединенный показатель дискомфорта;

R_a – общий индекс цветопередачи;

K_p – коэффициент пульсации освещенности.

В механическом цехе используется комбинированное освещение. В качестве искусственных источников света используется светодиодное освещение.

При работе на станках обязательно используется местное освещение. Светильники следует располагать таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения работающих на освещаемом рабочем месте и на других рабочих местах.

Систематически, но не реже одного раза в три месяца, светильники общего освещения должны очищаться от пыли и грязи. Работа должна производиться электротехническим персоналом при отключенном напряжении. Перегоревшие лампы, разбитая или поврежденная арматура должны немедленно заменяться.

6.2.5 Электробезопасность

Электрический удар ведет к возбуждению живых тканей. В зависимости от патологических процессов, вызываемых поражением электротоком, принята следующая классификация тяжести электротравм при электрическом ударе: электротравма I степени – судорожное сокращение мышц без потери сознания; электротравма II степени – судорожное

сокращение мышц с потерей сознания; электротравма III степени – потеря сознания и нарушение функций сердечной деятельности или дыхания (не исключено и то, и другое); электротравма IV степени – клиническая смерть.

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» [11], Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н [12], Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [13].

Защитой от поражения электрическим током персонала цеха служит применение устройств дифференциальной защиты, а также контроль изоляции, применение пятипроводных проводников (заземление и зануление). При проведении работ на электрооборудовании используются знаки безопасности и предупреждающие плакаты; защитное заземление; зануление, а также средства индивидуальной электрозащиты.

6.2.6 Движущиеся машины и механизмы

Требования по безопасности при работе на производственном оборудовании описаны в ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [14].

В механическом цехе большое количество подвижного оборудования. Также для перемещения грузов используются автокары, кран-балки, рельсовые тележки.

Переломы пальцев кисти рук и стопы ног могут иметь место в случае падения тяжелых предметов с высоты (заготовок, деталей, инструмента). Наиболее тяжелые переломы костей (бедро, предплечье, ключица, позвоночник, череп) возникают при падении человека с высоты, авариях на транспорте. Ушибы чаще всего имеют место при неосторожном обращении с инструментом и приспособлениями для обработки материалов, пользовании неисправным инструментом, соскакивании молотка с рукоятки, падении

тяжелых инструментов и обрабатываемых деталей, выскальзывании инструмента из рук. Наиболее частые ранения тела, в основном рук, происходят при использовании неисправной оснастки металлообрабатывающих станков. Особую опасность представляет ранение глаз в результате попадания инородных тел на роговицу и конъюнктиву, травматические эрозии, порезы и ссадины на коже век и др.

Для защиты от стружки при обработке на каждой операции техпроцесса применены индивидуальные средства защиты: защитные очки, крючок-рапира и щетка-сметка. Для предотвращения травм от рисков, заусенцев, острых кромок на токарных операциях предусмотрены притупления острых кромок, а после фрезерных, сверлильных и других операций выполняются слесарные операции.

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

6.3 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.

Сточные воды из производственного помещения могут быть только в результате мойки оборудования цеха. Для исключения загрязнения гидросферы и литосферы такие воды направляются в канализационные устройства, а далее в очистные сооружения.

Основными мероприятиями по охране окружающей среды являются:

- снижение массы вредных веществ и интенсивности воздействий за счёт совершенствования технологии и производственного оборудования;
- очистка производственных выбросов и смывов.
- сбор, транспортировка, хранение и захоронение, утилизация и ликвидация твёрдых отходов.

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

Остатки и отходы лома собираются отдельно в месте для сбора и хранения, а затем вывозится для дальнейшей переработки на сторонние предприятия.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия, теракты.

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".

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.

Пожароопасными объектами в цехе являются: открытая закалочная ванна; ванна промывки деталей в керосине; безмуфельные агрегаты. Пожароопасными веществами являются: закалочное масло; керосин.

Пожаробезопасность обеспечивается комплексом противопожарных, организационных, инженерно-технических мероприятий и средств при эксплуатации электроустановок.

6.5 Выводы по разделу

Технические специалисты в повседневной работе решают вопросы, связанные с улучшением технологии, повышением надежности технических систем, безопасности жизнедеятельности работающих и т.д. Значительное место занимают решения по охране труда работающих, охране окружающей среды, предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Обоснование этих решений, как правило, сопровождается проведением соответствующих расчетов, которые направлены как на проектирование коллективных средств защиты, работающих от опасных и/или вредных факторов, так и на прогнозирование параметров этих факторов во времени и пространстве.

В ходе проведения работы установлено, что выявленные опасные и вредные факторы в целом соответствуют нормативным значениям. В случае, если какие-то факторы не соответствуют нормам, например, как уровень шума, необходимо использовать средства индивидуальной защиты.

Рассматриваемое производственное помещение с точки зрения электрической безопасности относится к безопасным помещениям. Персонал помещения имеет II группу по электробезопасности.

Категория тяжести труда IIб – работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и умеренным физическим напряжением с интенсивностью энергозатрат 201-250 ккал/час (233 - 290 Вт).

Помещение имеет категорию по взрывопожарной и пожарной опасности В1-В4 пожароопасность – (горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть).

Рассматриваемое помещение имеет III категорию, как объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду.

Заключение

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

Одной из задач было проведение инженерных изысканий, связанных с изучением климата, географических и геологических условий местности. С учетом изученных условий производилось дальнейшее проектирование объекта электроснабжения, выбор оборудования, соответствующего климатическим условиям, и канализация электрической энергии.

Первым этапом для достижения цели было предварительное определение расчетной электрической нагрузки цеха методом коэффициента расчётной мощности.

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.

В качестве освещения цехов были приняты светодиодные светильники.

По расчетным нагрузкам цехов была построена картограмма нагрузок и определён центр электрических нагрузок предприятия. Максимально близко к центру электрических нагрузок, с учетом расположения объектов и подъездных путей, была установлена главная понизительная подстанция.

Далее было определено число и мощность цеховых трансформаторов. С учетом выбранного числа трансформаторов был произведен расчет и выбор компенсирующих устройств. Компенсация реактивной мощности позволила уменьшить загрузку трансформаторов цеховых подстанций, а также привести коэффициент мощности цехов к требуемому значению.

Распределительная сеть 10 кВ по территории предприятия выполнена кабельными линиями с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого

полиэтилена марки АПвБбШп, проложенными в траншеях. Питание осуществлено по радиальным линиям.

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

Питание РП 0,4 кВ от цеховых подстанций выполнено бронированными кабелями с медными жилами марки ВБбШв, проложенными в траншеях.

При разработке схемы внешнего электроснабжения учитывалась категорийность электроприемников объекта, а также простота и надежность схемы. Была принята схема в виде двух блоков с выключателями и неавтоматической перемычкой. Схема простая и надежная. Также было выбрано оборудование открытого распределительного устройства, проведены проверки по номинальным параметрам, а также на стойкость токам короткого замыкания.

В качестве закрытого распределительного устройства были приняты ячейки КРУ. Такое РУ позволяет безопасно производить обслуживание, осуществлять ремонт и замену элементов высоковольтного оборудования.

Следующим этапом было осуществлено электроснабжение промышленных потребителей в здании производственного помещения. На данном этапе электроприемники были распределены по пунктам питания, были рассчитаны номинальные параметры приемников, а также была определена расчетная нагрузка цеха с учетом распределения электроприемников.

Для обеспечения безопасности персонала в производственном помещении принята система заземления типа TN-S.

Распределительные пункты и мощные электроприёмники запитываются от ВРУ цеха. ВРУ питается от цеховой трансформаторной подстанции бронированными пятижильными кабелями с медными жилами, проложенными в траншеях.

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 воздушными автоматическими выключателями.

Карта селективности, построенная по результатам выбора аппаратов защиты, показала, что селективность обеспечивается. А эпюра отклонения напряжения, построенная для максимального минимального и послеаварийного режимов, показала, что во всех режимах работы у электроприёмников поддерживается напряжение в допустимых пределах и выбранные сечения пригодны для эксплуатации.

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. Архангельск [Электронный ресурс]. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Архангельск>
3. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
4. Почвы: характеристики и карты [Электронный ресурс]. – <https://ezrf.ru/poleznye-statii/pochvy-harakteristiki-i-karty>
5. СНиП 23-01-99 Строительная климатология
6. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
7. Архангельская область [Электронный ресурс]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Архангельская_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 НЦ ЭНАС, 2005.
16. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
17. Логинова С.Е., Логинов А.В., Ударов В.М., Шийко А.П. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищёнными проводами. Книга 4. Система защищенных проводов напряжением 6-20 кВ. Том 2. Редакция 2. С-Пб: ENSTO – «РОСЭП», 2013 г.
18. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – 3-е изд., М.: Энергоатомиздат, 1987.
19. Выбор сечений изолированных проводов СИП [Электронный ресурс]. – <https://docplayer.ru/60629224-Vybor-secheniy-izolirovannyh-provodov-sip.html>
20. АПвВнг [Электронный ресурс]. – https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/apvvng-ls_kamkabel/
21. Выбор экрана кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на термическую устойчивость [Электронный ресурс]. – <https://raschet.info/vybor-jekrana-kabelja-s-izoljaciej-iz-sshitogo-polijetilena-na-termicheskiju-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. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
29. Пашков Е.Н. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы бакалавра всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ/Сост. Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 24 с.
30. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
31. ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
32. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
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».

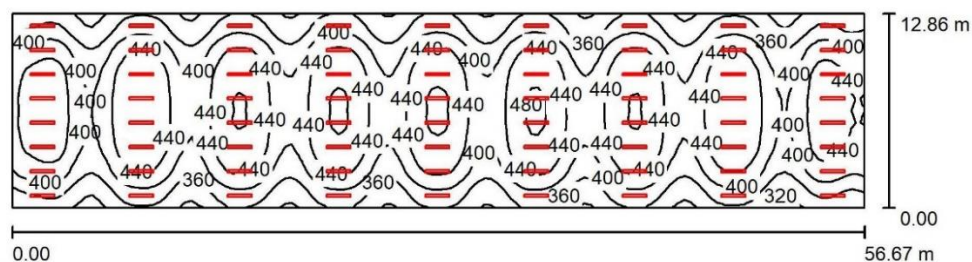
36. СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
37. СП.52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
38. ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».
39. ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов».
40. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н.
41. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок.
42. ГОСТ 12.2.003-91 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».
43. СП 51.13330.2011 «Защита от шума» Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.

Приложение А
Светотехнический расчёт



Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Помещение 1 / Резюме



Высота помещения: 4.500 m, Монтажная высота: 3.300 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.71

Значения в Lux, Масштаб 1:406

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	413	302	487	0.731
Полы	20	413	297	490	0.720
Потолок	70	168	128	244	0.763
Стенки (4)	50	312	183	594	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.000 m
Растр: 128 x 32 Точки
Краяевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	72	Lighting Technologies ARCTIC 249 (SAN/SMC) HF (1.000)	7385	8600	98.0
			Всего: 531725	Всего: 619200	7056.0

Удельная подсоединенная мощность: $9.68 \text{ W/m}^2 = 2.35 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 728.55 m^2)



Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Помещение 1 / Ведомость светильников

72 Шт.

Lighting Technologies ARCTIC 249 (SAN/SMC)
HF

№ изделия:

Световой поток (Светильник): 7385 lm

Световой поток (Лампы): 8600 lm

Мощность светильников: 98.0 W

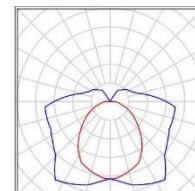
Классификация светильников по CIE: 82

CIE Flux Code: 37 63 83 82 86

Комплектация: 2 x 8600 lm, 98 W

(Поправочный коэффициент 1.000).

Изображение
светильников дается в
фирменном каталоге.





Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Помещение 1 / Светотехнические результаты

Общий световой поток: 531725 lm
Общая мощность: 7056.0 W
Коэффициент эксплуатации: 0.71
Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	283	129	413	/	/
Полы	283	130	413	20	26
Потолок	62	106	168	70	37
Стенка 1	178	113	291	50	46
Стенка 2	290	115	405	50	65
Стенка 3	178	111	289	50	46
Стенка 4	298	117	415	50	66

Равномерность на рабочей плоскости

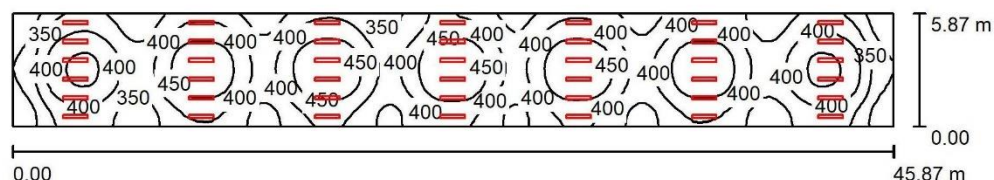
$E_{\min} / E_{\text{ср}}$: 0.731 (1:1)

$E_{\min} / E_{\max}$: 0.619 (1:2)

Удельная подсоединенная мощность: $9.68 \text{ W/m}^2 = 2.35 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 728.55 m^2)

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Помещение 2 / Резюме



Высота помещения: 4.500 m, Монтажная высота: 3.300 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.71

Значения в Lux, Масштаб 1:328

Поверхность	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$
Рабочая плоскость	/	400	252	499	0.630
Полы	20	401	256	502	0.639
Потолок	70	175	134	213	0.763
Стенки (4)	50	292	161	912	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.000 m
Растр: 128 x 16 Точки
Краяевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	42	Lighting Technologies ARCTIC 235 (SANS MC) HF (1.000)	5668	6600	70.0
Всего:			238040	277200	2940.0

Удельная подсоединенная мощность: $10.92 \text{ W/m}^2 = 2.73 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 269.35 m^2)



Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Помещение 2 / Ведомость светильников

42 шт.

Lighting Technologies ARCTIC 235 (SANSMC)

HF

№ изделия:

Световой поток (Светильник): 5668 lm

Световой поток (Лампы): 6600 lm

Мощность светильников: 70.0 W

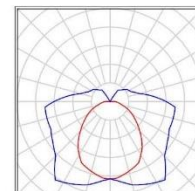
Классификация светильников по CIE: 82

CIE Flux Code: 37 63 83 82 86

Комплектация: 2 x 6600 lm, 70 W

(Поправочный коэффициент 1.000).

Изображение
светильников дается в
фирменном каталоге.





Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Помещение 2 / Светотехнические результаты

Общий световой поток: 238040 lm
Общая мощность: 2940.0 W
Коэффициент эксплуатации: 0.71
Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средняя Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	266	134	400	/	/
Полы	266	135	401	20	26
Потолок	61	114	175	70	39
Стенка 1	171	120	292	50	46
Стенка 2	196	113	308	50	49
Стенка 3	171	118	289	50	46
Стенка 4	196	113	308	50	49

Равномерность на рабочей плоскости

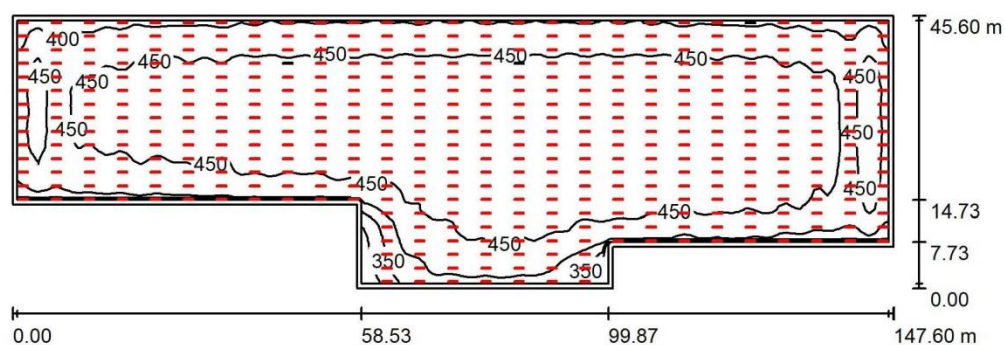
$E_{\min} / E_{\text{ср}}$: 0.630 (1:2)

$E_{\min} / E_{\max}$: 0.506 (1:2)

Удельная подсоединенная мощность: $10.92 \text{ W/m}^2 = 2.73 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 269.35 m^2)

Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Зал / Резюме



Высота помещения: 4.500 m, Монтажная высота: 4.500 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:1056

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	446	260	485	0.583
Полы	20	441	232	484	0.526
Потолок	70	185	91	2715	0.491
Стенки (8)	50	366	208	815	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.000 m
Растр: 128 x 64 Точки
Краевая зона: 0.800 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	447	Lighting Technologies ARCTIC 249 (SAN/SMC) HF (1.000)	7385	8600	98.0
Всего:			3301128	Всего: 3844200	43806.0

Удельная подсоединенная мощность: $7.82 \text{ W/m}^2 = 1.75 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 5601.06 m^2)

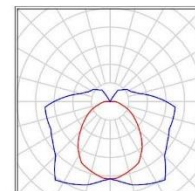


Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Зал / Ведомость светильников

447 Шт. Lighting Technologies ARCTIC 249 (SAN/SMC)
HF
№ изделия:
Световой поток (Светильник): 7385 lm
Световой поток (Лампы): 8600 lm
Мощность светильников: 98.0 W
Классификация светильников по CIE: 82
CIE Flux Code: 37 63 83 82 86
Комплектация: 2 x 8600 lm, 98 W
(Поправочный коэффициент 1.000).

Изображение
светильников дается в
фирменном каталоге.





Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Зал / Светотехнические результаты

Общий световой поток: 3301128 lm
Общая мощность: 43806.0 W
Коэффициент эксплуатации: 0.80
Краевая зона: 0.800 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	313	133	446	/	/
Полы	306	134	441	20	28
Потолок	84	101	185	70	41
Стенка 1	231	119	350	50	56
Стенка 2	219	94	313	50	50
Стенка 3	204	109	313	50	50
Стенка 4	196	98	294	50	47
Стенка 5	229	120	349	50	56
Стенка 6	368	125	494	50	79
Стенка 7	230	113	343	50	55
Стенка 8	352	128	479	50	76

Равномерность на рабочей плоскости

$E_{\min} / E_{\text{ср}}: 0.583 (1:2)$

$E_{\min} / E_{\max}: 0.535 (1:2)$

Удельная подсоединенная мощность: $7.82 \text{ W/m}^2 = 1.75 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 5601.06 m^2)

Приложение Б
Комплект чертежей