

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка системы электроснабжения инструментального завода с детальной проработкой кузнечного цеха

УДК 658.26

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5A7Д	Белобородов Дмитрий Вячеславович		01.06.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	К.Т.Н., доцент		01.06.2022

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	Кашук И.В	К.Т.Н., доцент		01.06.2022

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М.С.	—		01.06.2022

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	К.Т.Н., доцент		01.06.2022

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, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и</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;

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
	<i>электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.	
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	Белобородов Дмитрий Вячеславович

Тема работы:

Разработка системы электроснабжения инструментального завода с детальной проработкой кузнечного цеха
Утверждена приказом директора (дата, номер) от 18.11.2021г. №322-57/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022
--	------------

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, подлежащих разработке; заключение по работе).</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 8. Схема внутривозвратной сети выше 1000 В

	9. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В 10. Выбор и проверка оборудования в сети выше 1000 В 11. Электроснабжение цеха 12. Выбор защитных аппаратов и сечений линий, питающих распределительные пункты и электроприемники 13. Построение эпюры отклонения напряжения 14. Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В 15. Построение карты селективности действия аппаратов защиты 16. 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 3. План силовой сети цеха 4. Принципиальная схема КТП 5. Однолинейная схема ВРУ 6. Однолинейная схема ПР 7. Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности 8. План прокладки сетей освещения 9. Однолинейная схема сетей освещения ЩО 10. 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	01.12.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	к.т.н., доцент		01.12.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А7Д	Белобородов Дмитрий Вячеславович		01.12.2021

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:	01.06.2022
--	------------

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	Герасимов Д.Ю.	К.Т.Н., доцент		01.12.2021

СОГЛАСОВАНО: Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	К.Т.Н., доцент		01.12.2021

Реферат

Выпускная квалификационная работа 183 с., 21 рис., 61 табл., 43 источника, 10 прил.

Ключевые слова: электрооборудование, схема электроснабжения, линия, сеть, электроприемник, нагрузка, оборудование, защита, ток, напряжение, электроэнергия, инструмент, оснастка, заточка.

Объектом исследования является электрическая часть инструментального завода.

Цель работы – проектирование схемы электроснабжения предприятия, выбор оборудования.

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

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

Основные характеристики: схема электроснабжения состоит из кабельных и воздушных линий электропередачи. В высоковольтной сети применяются элегазовые 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.

Оглавление

Условные обозначения и сокращения	12
Введение	13
1 Общие сведения об объекте электроснабжения	14
1.1 Роль предприятия в хозяйственной деятельности	14
1.2 Инженерные изыскания	15
1.2.1 Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности	15
1.2.2 Инженерные изыскания по климатическим условиям местности	16
1.2.3 Инженерные изыскания по гидрологическим условиям местности	17
1.3 Технологический процесс	18
1.4 Особенности электроснабжения предприятия и производственного помещения	21
1.5 Исходные данные	22
2 Электроснабжение объектов на территории предприятия	29
2.1 Определение расчетной нагрузки производственного помещения	29
2.2 Расчет электрических нагрузок предприятия	33
2.3 Картограмма электрических нагрузок	42
2.4 Распределение источников питания по территории предприятия	48
2.5 Разработка линий электроснабжения выше 1000 В по территории предприятия	55
2.6 Разработка линий электроснабжения до 1000 В по территории предприятия	61
2.7 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	62
3 Внешнее электроснабжение предприятий	73
3.1 Разработка схемы внешнего электроснабжения	73
3.2 Выбор трансформатора главной понизительной подстанции	75
3.3 Разработка линии электроснабжения главной понизительной подстанции	75
3.4 Выбор оборудования открытого распределительного устройства главной понизительной подстанции	76

3.4.1 Выбор выключателей и разъединителей	76
3.4.2 Выбор измерительных трансформаторов тока	78
3.4.3 Выбор измерительных трансформаторов напряжения	81
3.4.4 Выбор ограничителя перенапряжения	82
3.4.5 Выбор трансформаторов собственных нужд	82
3.5 Выбор оборудования закрытого распределительного устройства главной понизительной подстанции	84
3.5.1 Выбор типа закрытого распределительного устройства	84
3.5.2 Выбор оборудования закрытого распределительного устройства	88
4 Электроснабжение промышленных потребителей в здании кузнечного цеха	91
4.1 Распределение электроприёмников производственного помещения по пунктам питания	91
4.2 Расчет электрических нагрузок производственного помещения	93
4.3 Выбор защитных аппаратов и проводников	100
4.4 Оценка установившегося отклонения напряжений	112
4.5 Расчет токов короткого замыкания в сети до 1000 В	119
4.6 Построение карты селективности действия аппаратов защиты	123
4.7 Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ	125
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	130
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	131
5.1.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки проекта	131
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений	132
5.1.3 SWOT-анализ	134
5.2 Планирование выполнения работ по проекту	136
5.2.1 Структура работ в рамках проектной работы	136
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения работ	137
5.3 Бюджет проектной работы	140

5.3.1 Расчет материальных затрат	140
5.3.2 Расчет амортизации оборудования	140
5.3.3 Основная заработная плата исполнителей	141
5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	143
5.3.5 Накладные расходы	143
5.3.6 Формирование бюджета затрат проектной работы	144
5.4 Определение ресурсоэффективности проектной работы	144
5.5 Выводы по разделу	147
6 Социальная ответственность	150
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	152
6.2 Производственная безопасность	154
6.2.1 Отклонение показателей микроклимата	155
6.2.2 Повышенный уровень шума	157
6.2.3 Повышенный уровень вибрации	158
6.2.4 Недостаточный уровень освещения	159
6.2.5 Электробезопасность	159
6.2.6 Движущиеся машины и механизмы	160
6.3 Экологическая безопасность	161
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	162
6.5 Выводы по разделу	163
Заключение	164
Список использованных источников	167
Приложение А. Светотехнический расчёт	171
Приложение Б. Картограмма электрических нагрузок. Распределительная сеть	174
Приложение В. Схема электрическая принципиальная	175
Приложение Г. План силовой сети кузнечного цеха	176
Приложение Д. Однолинейная схема комплектной трансформаторной подстанции	177
Приложение Е. Однолинейная схема вводного распределительного устройства	178

Приложение Ж. Однолинейная схема распределительного пункта ПР1	179
Приложение И. Эпюра отклонения напряжения. Карта селективности	180
Приложение К. План сети освещения цеха	181
Приложение Л. Однолинейная схема сетей освещения ЩО1	182
Приложение Н. Изолинии	183

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;

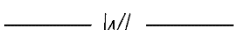
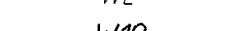
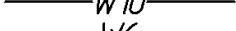
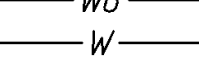
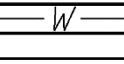
РУнн – распределительное устройство низкого напряжения, ниже 1000 В;

ЦН – центр электрических нагрузок;

ВЛ – воздушная линия электропередач;

КЛ – кабельная линия электропередач.

Графические обозначения

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

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 инструментального завода, используя при проектировании данные предприятия (генплан, план цеха, сведения об электрических нагрузках), детально проработать систему электроснабжения приемников в здании кузнечного цеха, сделать выводы.

1 Общие сведения об объекте электроснабжения

1.1 Роль предприятия в хозяйственной деятельности

Традиционно инструментальные производства самостоятельными не являлись. Они существовали в рамках предприятий, выпускающих различные изделия, и назывались вспомогательными, поскольку главной их задачей являлось производство технологической оснастки, предназначенной для выпуска изделий основного производства своего предприятия. Но тенденция повышения уровня специализации привела к тому, что появилась новая отрасль промышленности – инструментальная, предприятия которой занимаются разработкой и выпуском формообразующей технологической оснастки.

Основное направление предполагаемой деятельности рассматриваемого предприятия – крупно- и мелкосерийный выпуск широкого ассортимента металлорежущих инструментов, которые можно разделить на три основные группы: хвостовую, насадную и плоскую.

Характерным признаком хвостовой группы инструментов (сверла, зенкеры, развертки, фрезы, хвостовые долбяки и т.д.) является цилиндрический или конический хвостовик. Последний служит основной базовой поверхностью, предназначенной для крепления его в цанговом патроне или в коническом гнезде шпинделя станка.

К насадной группе инструментов относятся инструменты с цилиндрическим или коническим и резьбовым отверстиями: насадные зенкеры, развертки, фрезы, круглые резьбонарезные плашки, круглые резцы, долбяки и т. д. Отверстия в этих инструментах чаще всего являются основными и технологическими базами, ориентирующими соответственно инструмент в процессе работы на станке и при его изготовлении.

Плоская группа включает следующие инструменты: стержневые и призматические резцы, ножи для сборных инструментов, зуборезные гребенки, плоские протяжки и т. д. Характерным признаком этой группы инструмента является наличие широких или узких плоскостей, при помощи которых инструмент устанавливается как при обработке его, так и при его работе на станке.

Деятельность предприятия направлена как на обеспечения других производств технологической оснасткой и инструментом, так и выпуском товаров народного потребления.

Предполагаемый ассортимент предприятия:

1. Металлорежущий инструмент:

- сверла спиральные с цилиндрическим и коническим хвостовиком;
- резьбообразующий инструмент (метчики, плашки, ролики);
- зубообрабатывающие фрезы (червячные, модульно-дисковые);
- фрезы концевые;
- сборный, оснащенный сменными многогранными твердосплавными пластинами;
- цельный твердосплавный инструмент;
- инструмент по чертежам заказчика.

2. Дереворежущий инструмент:

- сверла;
- фрезы концевые;
- фрезы насадные пазовые;
- фрезы насадные затылованные профильные;
- фрезы насадные сборные с профильными ножами.

3. Товары народного потребления:

- наборы сверл по металлу, бетону, дереву;
- наборы резьбонарезного инструмента.

1.2 Инженерные изыскания

1.2.1 Инженерные изыскания по географическим и геологическим условиям местности

Магаданская область Расположена в северо-восточной части России. В рельефе основное место занимают горные хребты [2].

Географические координаты объекта 62°54' с.ш. 153°42' в.д. [2].

Область находится в часовой зоне МСК+8. Смещение применяемого времени относительно UTC составляет +11:00 [2].

Регион лежит в пределах Черского и Охотско-Анадырского сейсмических поясов. Сила землетрясений может достигать на хребте Черского до 8 баллов, а вдоль побережья – до 7. Сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64: 7-8 баллов [3].

На территории Магаданской области присутствуют в основном глеевые и подзолистые почвы. Повсеместно распространена многолетняя мерзлота, из-за которой многие долины заболочены, так как она препятствует проникновению воды в глубь почвы [4].

1.2.2 Инженерные изыскания по климатическим условиям местности

Данная территория расположена в двух суровых зонах Крайнего Севера: тундры и лесотундры. Для этой зоны характерны: избыточное увлажнение, холодное лето, снежная зима. По термическим условиям зимы в этой зоне следует различать два типа климата: 1 – резко континентальный климат с суровой зимой (распространён преимущественно в обширных континентальных районах); 2 – умеренно континентальный и морской климат с умеренно суровой зимой. Почти вся территория Магаданской области расположена в зоне вечной мерзлоты.

В области в среднем за год выпадает 526 мм осадков [2].

Климатические параметры холодного периода года приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Климатические параметры холодного периода года [5]

Республика, край, область, пункт	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспеченностью		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью		Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,94	Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °С	Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха						Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца, %	Количество осадков за ноябрь - март, мм	Преобладающее направление ветра за декабрь - февраль	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с	Средняя скорость ветра, м/с, за период со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 °С
								≤ 0 °С		≤ 8 °С		≤ 10 °С							
	0,98	0,92	0,98	0,92				продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура	продолжительность	средняя температура						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Магадан	-34	-32	-31	-29	-22	-35	5,2	214	-11,1	288	-7,1	316	-5,7	63	62	114	СВ	7,3	5,2

Климатические параметры теплого периода года приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Климатические параметры теплого периода года [5]

Республика, край, область, пункт	Барометрическое давление, гПа	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,95	Температура воздуха, °С, обеспеченностью 0,98	Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С	Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца, %	Количество осадков за апрель - октябрь, мм	Суточный максимум осадков, мм	Преобладающее направление ветра за июль - август	Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Магадан	1000	12,8	16,1	14,9	26	6	83	83	412	98	3	4,3

Средняя месячная и годовая температуры воздуха приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Средняя месячная и годовая температуры воздуха [5]

Республика, край, область, пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Магадан	-17,0	-16,0	-12,6	-5,7	1,3	6,6	11,2	11,5	7,1	-2,4	-11,4	-15,0	-3,5

Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе: 47-877 МДж/м². Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на вертикальную поверхность при безоблачном небе: 65-685 МДж/м² [5].

Преобладающее направление ветра за декабрь - февраль: СВ. Преобладающее направление ветра за июнь - август: З [5]. Область относится к I, II, III и IV зонам по ветровому давлению [6].

Среднегодовая продолжительность гроз: менее 10 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

Территория Магаданской области покрыта густой и разветвлённой речной сетью. К бассейну Северного Ледовитого океана относится река Колыма и её притоки – Детрин, Тенька, Бахапча, Буюнда, Балыгычан, Сугой, Коркодон, Омолон, Таскан, Дебин, Сеймчан и другие. К бассейну Тихого океана относятся реки, значительно уступающие по протяжённости притокам Колымы: Тауй, Яна, Армань, Ола, Яма, Гижига и другие.

Основными источниками питания рек являются снеговые, дождевые и подземные воды. Наледи – характерное явление для Магаданской области. Они образуются в местах, где русло забивается шугой и промерзает до дна.

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

Производство инструмента включает следующие технологические этапы:

Этап заготовительных операций. Сюда относятся: отрезка заготовок, сварка, отжиг, прокатка профилей для заготовок, завивка свёрл, ковка, штамповка, литьё и другие операции.

Изначально сырьё попадает в участок цианирования, где из сырья делают заготовки.

Для изготовления режущего инструмента инструментальная сталь поставляется в виде:

- а) прутков круглого, прямоугольного или квадратного сечений;
- б) листов горячекатаных или холоднокатаных; в) поковок, получаемых методом свободной ковки или ковкой в штампах;
- г) литья из быстрорежущей стали для заготовок цельных и биметаллических режущих инструментов;
- д) литья из модифицированного, ковкого и серого чугуна для корпусов инструментов.

В инструментальный цех металл подается в виде заготовок, отрезанных на одно изделие, или в прутках для обработки на revolverных станках и автоматах. Материал для изготовления мелких сверл диаметром от 0,2 до 1 мм иногда поступает в мотках в виде проволоки, а не в виде прутков. Металл перед разрезкой на отрезных станках необходимо править для устранения кривизны. Всякая правка осуществляется по следующей схеме, имея в виду, что заготовки обладают высокими упругими свойствами. На две опоры устанавливается заготовка, в середине которой сообщается нагрузка-сила, направленная перпендикулярно оси заготовки и в сторону имеющейся кривизны.

Этап образования формы включает операции шлифования, фрезерования, строгания, долбление, протягивание, разрезка заготовок, рассчитанных на несколько деталей.

Заготовка, полученная тем или иным методом, поступает в механические цеха, такие как: цех станкостроения, цех плашек, цех метчиков, цех сборочного инструмента, цех резьбонарезных головок, цех цилиндрических сверл, цех фрез и разверток, цех нестандартного инструмента, цех мелкого инструмента, инструментальный цех; для дальнейшей обработки в целях получения готового изделия в соответствии с заданными техническими требованиями.

Окончательная обработка назначается для устранения погрешностей в геометрической форме, полученных при предварительной токарной обработке, и получения соответствующей чистоты поверхности.

Для изготовления центровых отверстий применяют два последовательно участвующих в работе инструмента – спиральное сверло и зерновку или комбинированное центровочное сверло. Центрирование производится на специальных центровальных станках, имеющих головку с двумя расположенными рядом шпинделями. Один шпиндель имеет патрон для сверла, другой – патрон для зерновки, для комбинированного центровочного сверла применяют станок с одним шпинделем.

Значительная часть режущего инструмента – сверла, зенкеры, развертки – изготавливают с конусными хвостиками. Конусные хвостики с лапкой в мелкосерийном производстве изготавливают на токарных станках. Вначале обрабатывается хвостовик на конус по копирной линейке, а затем, на следующей операции, обтачивается цилиндрическая часть лапки и подрезается торец радиусным резцом.

Далее идет кузнечный цех, где режущий инструмент проходит этап клеймления. Клеймение всякого без исключения режущего инструмента необходимо, так как клеймо является его кратким паспортом. Клеймо на режущем инструменте упрощает хранение его на складе и в инструментальных раздаточных кладовых, учет его, выдачу и т.д. Клеймо должно быть четким, ясным и красивым.

На нерабочих поверхностях измерительных инструментов (гладких и резьбовых калибрах, скобах, шаблонах) наносят знаки – цифры и буквы, которые указывают основную техническую и метрологическую характеристику измерительного инструмента, его номер и марку завода.

Вслед за этим идёт этап термической обработки (термический цех), включающий такие операции как закалка, напайка и т. п.

Термическая обработка осуществляется следующим образом. После напайки твердосплавной пластинки изделие продолжают нагревать до температуры закалки в электросоляных печах. С закалочной температуры охлаждают в селитру или масло. После охлаждения инструмент подвергается отпуску.

После этого следует этап удаления припоя и обработки технологических или основных баз. На этом этапе снимают припой с поверхности твердосплавного инструмента, шлифуют центровые отверстия и торцы у насадных инструментов. Здесь также производят зачистку резьбовых отверстий в соответствующих местах и т.д.

Для сборных инструментов следующим этапом является сборка корпусов с ножами, клиньями и другими деталями в зависимости от конструкции инструмента.

Заканчивается технологический процесс шлифованием и затачиванием рабочих частей инструмента, доводкой отверстий и режущих кромок.

После завершения технологического процесса инструмент поступает на склад готовой продукции.

На начальных этапах широко применяются различные прессы и молоты с пневматическими, гидравлическими и электрическими приводами, прокатные станы, установки для литья, автоматические и ручные электросварочные установки, электрические печи сопротивления различных типов, коксовые горны. На этапе термической обработки, кроме того, используются индукционные и высокочастотные установки, электротермические установки для закалки и отпуска, гальванические ванны.

На всех этапах производства используются подъёмные и вентиляционные установки с электрическим приводом, электрические осветительные установки, средства автоматизации и управления, электрический транспорт. Имеется насосная и компрессорная станции.

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.

Кузнечный цех относится к нагрузке II категории, соответственно запитывается от двухтрансформаторной цеховой подстанции.

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 инструментального завода, расположенного в Магаданской области. Разработать проект системы электроснабжения для кузнечного цеха, работающего в составе инструментального завода и являющегося одним из вспомогательных цехов в технологической цепочке производства инструмента.

Исходными данными к проектированию являются:

1. Генеральный план предприятия (рисунок 1.1).
2. Сведения об электрических нагрузках производственных помещений, характеристика потребителей электроэнергии (таблица 1.4);
3. Строительные параметры и среда производственных помещений (таблица 1.5);
4. План рассматриваемого производственного помещения (рисунок 1.2.);
5. Сведения об электрических нагрузках производственного помещения (таблица 1.6.);
6. Длина питающей линии (таблица 1.4).

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 1.4 – Ведомость электрических нагрузок предприятия

Потребитель	Категория	U _{ном} , кВ	P _{уст} , кВт	K _с , кВт	cosφ
1 Термическое отделение 1	II	0,38	900	0,60	0,75
2 Заготовительный цех	III	0,38	300	0,30	0,70
3 Сверлильный цех	III	0,38	400	0,30	0,75
4 Цех плашек	III	0,38	250	0,45	0,75
5 Цех метчиков	III	0,38	600	0,45	0,75
6 Деревообрабатывающий цех	III	0,38	250	0,40	0,75
7 Ремонтно-механический цех	III	0,38	650	0,30	0,70
8 Термическое отделение 2	II	0,38	600	0,60	0,75
9 Испытательная станция	III	0,38	160	0,50	0,70
10 Кузнечный цех	II	0,38	–	–	–
11 Склад	III	0,38	80	0,30	0,80
12 Заводоуправление	III	0,38	150	0,45	0,85
13 Насосная	II	0,38	800	0,60	0,75
14 Компрессорная	II	(СД) 10 0,38	2 × 1600 220	0,55	1,0 0,75
Источник питания L = 12,0 км	–	–	–	–	–

Таблица 1.5 – 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 Термическое отделение 1	10,0	149,2	26,0	3880	350,4	жаркая
2 Заготовительный цех	5,0	110,0	74,0	8140	368,0	нормальная
3 Сверлильный цех	4,2	110,0	75,2	8274	370,4	нормальная
4 Цех плашек	4,8	200,0	102,0	19111	604,0	нормальная
5 Цех метчиков	4,8	304,0	74,0	17296	756,0	нормальная
6 Деревообрабатывающий цех	5,0	76,0	74,0	5624	300,0	пожароопасная
7 Ремонтно-механический цех	4,5	74,0	48,0	3552	244,0	нормальная
8 Термическое отделение 2	10,0	304,0	26,0	7904	660,0	жаркая
9 Испытательная станция	3,8	204,0	36,0	7344	480,0	нормальная
10 Кузнечный цех	5,0	80,0	36,0	2880	232,0	нормальная
11 Склад	8,0	88,0	32,0	2816	240,0	нормальная
12 Заводоуправление	3,2	96,0	34,0	3264	260,0	нормальная
13 Насосная	4,0	66,0	48,0	3168	228,0	влажная
14 Компрессорная	4,0	66,0	48,0	3168	228,0	нормальная
Территория предприятия	–	–	–	252000	2040,0	–

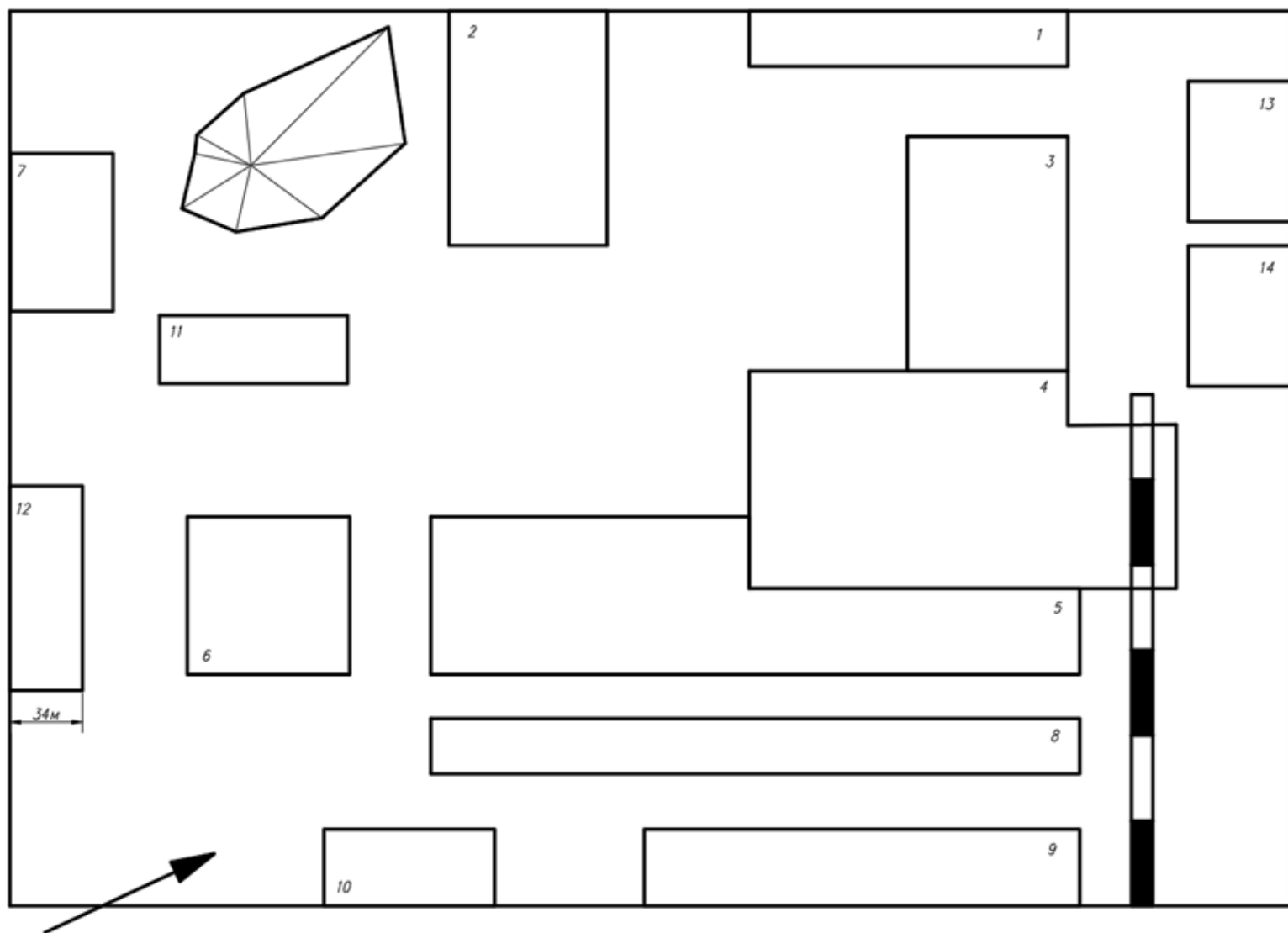


Рисунок 1.1 – Генплан предприятия

Таблица 1.6 – Сведения об электрических нагрузках кузнечного цеха

Наименование	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$k_{\text{исп}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$
1	2	3	4	5
1 Кран-балка ПВ = 25%	32,0	0,05	0,50	1,73
2 Фрезерный станок	8,0	0,20	0,60	1,33
3 Фрезерный станок	8,0	0,20	0,60	1,33
4 Фрезерный станок	8,0	0,20	0,60	1,33
5 Фрезерный станок	8,0	0,20	0,60	1,33
6 Трубогибочный станок	9,0	0,20	0,60	1,33
7 Трубогибочный станок	9,0	0,20	0,60	1,33
8 Трубогибочный станок	9,0	0,20	0,60	1,33
9 Шлифовальный станок	16,0	0,20	0,60	1,33
10 Трубогибочный станок	9,0	0,20	0,60	1,33
11 Трубогибочный станок	9,0	0,20	0,60	1,33
12 Сварочный трансформатор ПВ = 60%	18,0 МВА	0,50	0,70	1,02
13 Сварочный трансформатор ПВ = 60%	18,0 МВА	0,50	0,70	1,02
14 Сварочный трансформатор ПВ = 60%	18,0 МВА	0,50	0,70	1,02
15 Сушильный шкаф	12,0	0,80	0,95	0,33
16 Закалочная печь	22,0	0,80	0,95	0,33
17 Закалочная печь	22,0	0,80	0,95	0,33
18 Пресс	60,0	0,25	0,65	1,17
19 Токарный станок	14,0	0,20	0,60	1,33
20 Токарный станок	14,0	0,20	0,60	1,33
21 Токарный станок	14,0	0,20	0,60	1,33
22 Токарный станок	14,0	0,20	0,60	1,33
23 Токарный станок	14,0	0,20	0,60	1,33
24 Сварочный трансформатор ПВ = 60%	18,0 МВА	0,50	0,70	1,02
25 Токарный станок	14,0	0,20	0,60	1,33
26 Шлифовальный станок	16,0	0,20	0,60	1,33
27 Сушильный шкаф	12,0	0,80	0,95	0,33
28 Электрованна	26,0	0,80	0,95	0,33
29 Электрованна	26,0	0,80	0,95	0,33
30 Кран-балка ПВ = 25%	32,0	0,05	0,50	1,73
31 Вентилятор	8,0	0,75	0,80	0,75
32 Электромолот	22,0	0,30	0,60	1,33
33 Вентилятор горна	20,0	0,75	0,80	0,75
34 Токарный станок	14,0	0,20	0,60	1,33
35 Обдирочный станок	6,0	0,20	0,60	1,33
36 Электромолот	22,0	0,30	0,60	1,33
37 Сверлильный станок (однофазный)	4,0	0,20	0,60	1,33
38 Поворотный кран	18,0	0,10	0,50	1,73
39 Нагревательная плита	15,0	0,80	0,95	0,33
40 Вентилятор горна	20,0	0,75	0,80	0,75

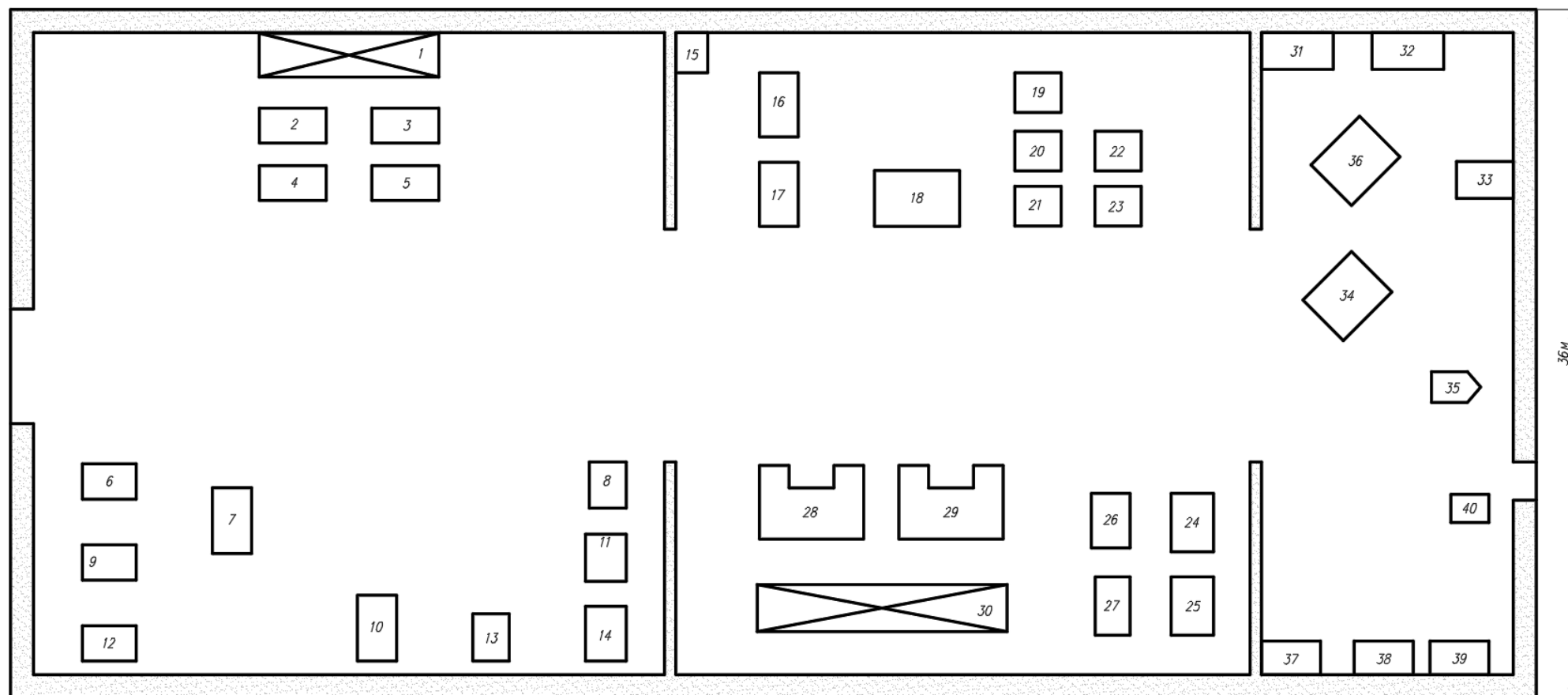


Рисунок 1.2 – План кузнечного цеха

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 12 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 3200 кВт.

На предприятии есть производственные помещения с пожароопасной и жаркой средой. В кузнечном 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 четырнадцати. Мощность производственных помещений по стороне 0,4 кВ находится в диапазоне от 80 до 900 кВт.

Цех состоит из нескольких крупных пролетов. В рассматриваемом производственном помещении сорок электроприёмников. Мощность используемых электроприёмников находится в диапазоне от 4 до 60 кВт. Также в цехе используются приёмники с повторно-кратковременным режимом работы и однофазные электроприёмники.

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 ($P_B = 100\%$).

Также необходимо учитывать, что в паспортных данных трансформаторов указывается полная мощность оборудования. Активная мощность сварочного трансформатора

$$P_{\text{пасп}} = S_{\text{пасп}} \cdot \cos\varphi = 18,0 \cdot 0,70 = 12,6 \text{ кВт.}$$

Расчет электрических нагрузок производственного помещения сведён в таблицу 2.1.

При определении расчетной нагрузки необходимо учесть наличие однофазных электроприёмников. В данном случае это вертикально сверлильный станок.

Так как однофазный электроприёмник один, то он учитывается как эквивалентный трёхфазный электроприёмник номинальной мощностью

$$P_{\text{ном}} = 3 \cdot P_{\text{пасп}} = 3 \cdot 4,0 = 12 \text{ кВт.}$$

Суммарная номинальная мощность электроприемников производственного помещения, по таблице 2.1

$$\sum P_n = 666,0 \text{ кВт.}$$

Таблица 2.1 – Определение расчетных нагрузок производственного помещения

Исходные данные									Расчетные величины		Эффективное число ЭП n_{Σ} , шт	Коэффициент расчетной активной нагрузки k_p	Расчетная мощность		
По заданию технологов						Справочные данные			$k_{\Sigma} \cdot P_{\Sigma n}$, кВт	$k_{\Sigma} \cdot P_{\Sigma n} \cdot \text{tg}\varphi$, кВАр			$P_p = k_p \cdot \Sigma(k_{\Sigma} \cdot P_n)$, 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_{Σ}	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	Коэффициент $\text{tg}\varphi$							
			$P_{n.\text{min}}$	$P_{n.\text{max}}$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1, 30	Кран-балка ПВ = 25%	2	32,0	32,0	64,0	0,05	0,50	1,73	3,2	5,5	–	–	–	–	–
2-11, 19-23, 25, 26, 34, 35, 37	Станки разные	20	6,0	16,0	225,0	0,20	0,60	1,33	45,0	60,0	–	–	–	–	–
12-14, 24	Сварочный трансформатор ПВ = 60%	4	18,0	18,0	72,0	0,50	0,70	1,02	36,0	36,7	–	–	–	–	–
15-17, 7-29, 39	Шкафы, печи, электрованны	7	12,0	26,0	135,0	0,80	0,95	0,33	108,0	35,5	–	–	–	–	–
18	Пресс	1	60,0	60,0	60,0	0,25	0,65	1,17	15,0	17,5	–	–	–	–	–
31, 33, 40	Вентиляторы	3	8,0	20,0	48,0	0,75	0,80	0,75	36,0	27,0	–	–	–	–	–
32, 36	Электромолот	2	22,0	22,0	44,0	0,30	0,60	1,33	13,2	17,6	–	–	–	–	–
38	Поворотный кран	1	18,0	18,0	18,0	0,10	0,50	1,73	1,8	3,1	–	–	–	–	–
Итого по силовой нагрузке производственного помещения		40	6,0	60,0	666,0	0,39	0,79	0,79	258,2	203,0	22	0,85	219,5	172,6	279,2
Электрическое освещение		1	–	–	14,1	0,95	0,95	0,33	13,4	4,4	–	–	13,4	4,4	14,1
Итого по производственному помещению		41	6,0	60,0	680,1	0,40	0,79	0,76	271,6	207,4	–	–	232,9	177,0	292,5

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

Расчетные величины (на примере кран-балки)

$$k_u \cdot P_{\Sigma H} = 0,05 \cdot 64,0 = 3,2 \text{ кВт},$$

$$k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 0,050 \cdot 64,0 \cdot 1,73 = 5,5 \text{ кВАр},$$

где $P_{\Sigma H}$ – 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

$$\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H}) = 258,2 \text{ кВт}, \quad \sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg}\varphi) = 203,0 \text{ кВАр}.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg}\varphi)}{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H})} = \frac{203,0}{258,2} = 0,79.$$

Средневзвешенный коэффициент использования

$$k_{u,\text{ср}} = \frac{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H})}{\sum P_H} = \frac{258,2}{666,0} = 0,39.$$

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

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot 666,0}{60,0} = 22,2 \text{ шт},$$

принимаем $n_{\text{э}} = 22$ шт.

Для найденных значений $n_{\text{э}}$ и $k_{и,\text{ср}}$ 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 $y = k_p$, $x = k_{и}$, тогда

$$y_1 = 0,85; \quad y_2 = 0,85; \quad x_1 = 0,30; \quad x_2 = 0,40; \quad x = 0,39.$$

Коэффициент расчетной нагрузки активной мощности

$$k_p = 0,85 - \frac{0,85 - 0,85}{0,40 - 0,30} \cdot (0,39 - 0,30) \approx 0,85.$$

Расчётная активная, реактивная и полная мощности электроприёмников

$$P_p = k_p \cdot \sum (k_u \cdot P_{\Sigma H}) = 0,85 \cdot 258,2 = 219,5 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 219,5 \cdot 0,79 = 172,6 \text{ кВАр},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{219,5^2 + 172,6^2} = 279,2 \text{ кВА}.$$

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

$$P_{H.O} = 14,1 \text{ кВт}.$$

Расчётная активная, реактивная и полная мощности осветительных приёмников производственного помещения

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{H.O} = 0,95 \cdot 14,1 = 13,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o = 13,4 \cdot 0,33 = 4,4 \text{ кВАр},$$

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{13,4^2 + 4,4^2} = 14,1 \text{ кВА}.$$

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

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ &= \sqrt{(219,5 + 13,4)^2 + (172,6 + 4,4)^2} = \sqrt{232,9^2 + 177,0^2} = 292,5 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

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];

$tg\varphi$ – 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 (Термическое отделение 1)

$$P_{уст} = 900 \text{ кВт}, \quad K_c = 0,60, \quad \cos\varphi = 0,75, \quad tg\varphi = 0,88.$$

Расчетные активная и реактивная мощности производственного помещения

$$P_p = K_c \cdot P_{уст} = 0,60 \cdot 900 = 540,0 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi = 540,0 \cdot 0,88 = 476,2 \text{ кВАр}.$$

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

$$E = 200 \text{ лк}.$$

Индекс помещения по геометрическим размерам производственного помещения

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{F_{п.п.}}{h \cdot \frac{\Pi}{2}} = \frac{3880}{10,0 \cdot \frac{350,4}{2}} = 2,21,$$

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

Π – периметр производственного помещения, м.

Тогда предельно допустимая удельная мощность осветительной установки по СП 52 составит

$$\rho_0 = 6,0 \text{ Вт/м}^2$$

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

$$P_{н.о} = \rho_0 \cdot F_{п.п.} = 0,006 \cdot 3880 = 23,3 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка осветительных приемников производственного помещения

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{n.o} = 0,95 \cdot 23,3 = 22,1 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o = 22,1 \cdot 0,33 = 7,3 \text{ кВАр}.$$

Полная максимальная мощность производственного помещения

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + (Q_p + Q_{p.o})^2} = \\ = \sqrt{(540,0 + 22,1)^2 + (476,2 + 7,3)^2} = 741,4 \text{ кВА}.$$

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

$$\rho_o = 0,05 \text{ Вт/м}^2.$$

Номинальная нагрузка осветительных приемников на территории предприятия

$$P_{n.o} = \rho_o \cdot \left(F_{\text{пред}} - \sum F_{\text{п.п.}} \right) = 0,00005 \cdot (252000 - 96420) = 7,8 \text{ кВт},$$

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

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

Расчетная нагрузка осветительных приемников на территории предприятия

$$P_{p.o} = K_{co} \cdot P_{n.o} = 1,0 \cdot 7,8 = 7,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o = 7,8 \cdot 0,33 = 2,6 \text{ кВАр},$$

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{7,8^2 + 2,6^2} = 8,2 \text{ кВА}.$$

Для удобства вынесем отдельно результаты расчетов

$$\sum P_p^H = 2779,5 \text{ кВт},$$

$$\sum Q_p^H = 2443,9 \text{ кВАр},$$

$$\sum P_{p.o} = 548,7 \text{ кВт},$$

$$\sum Q_{p.o} = 180,4 \text{ кВАр},$$

$$\sum P_p^B = 1760,0 \text{ кВт},$$

$$\sum Q_p^B = 0 \text{ кВАр}.$$

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 Термическое отделение 1	900,0	0,60	0,75	0,88	540,0	476,2
2 Заготовительный цех	300,0	0,30	0,70	1,02	90,0	91,8
3 Сверлильный цех	400,0	0,30	0,75	0,88	120,0	105,8
4 Цех плашек	250,0	0,45	0,75	0,88	112,5	99,2
5 Цех метчиков	600,0	0,45	0,75	0,88	270,0	238,1
6 Деревообрабатывающий цех	250,0	0,40	0,75	0,88	100,0	88,2
7 Ремонтно-механический цех	650,0	0,30	0,70	1,02	195,0	198,9
8 Термическое отделение 2	600,0	0,60	0,75	0,88	360,0	317,5
9 Испытательная станция	160,0	0,50	0,70	1,02	80,0	81,6
10 Кузнечный цех	666,0	–	0,79	0,79	219,5	172,6
11 Склад	80,0	0,30	0,80	0,75	24,0	18,0
12 Заводоуправление	150,0	0,45	0,85	0,62	67,5	41,8
13 Насосная	800,0	0,60	0,75	0,88	480,0	423,3
14 Компрессорная	220,0	0,55	0,80	0,75	121,0	90,8
Территория завода	0	–	–	–	0	0
Итого по 0,38 кВ	6026,0	–	–	–	2779,5	2443,9
Потребители электроэнергии выше 1000 В						
14 Компрессорная	3200,0	0,55	1,00	0	1760,0	0,0
Итого по 10 кВ	3200,0	–	–	–	1760,0	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 Термическое отделение 1	200	3880	350	10,0	2,21	6	23,3	0,95	22,1	7,3	562,1	483,5	741,4
2 Заготовительный цех	200	8140	368	5,0	8,85	5	40,7	0,95	38,7	12,7	128,7	104,5	165,8
3 Сверлильный цех	300	8274	370	4,2	10,64	6	49,6	0,95	47,2	15,5	167,2	121,3	206,6
4 Цех плашек	300	19111	604	4,8	13,18	6	114,7	0,95	108,9	35,8	221,4	135,0	259,4
5 Цех метчиков	300	17296	756	4,8	9,53	6	103,8	0,95	98,6	32,4	368,6	270,5	457,2
6 Деревообрабатывающий цех	200	5624	300	5,0	7,50	5	28,1	0,95	26,7	8,8	126,7	97,0	159,6
7 Ремонтно-механический цех	400	3552	244	4,5	6,47	8	28,4	0,95	27,0	8,9	222,0	207,8	304,1
8 Термическое отделение 2	200	7904	660	10,0	2,40	6	47,4	0,95	45,1	14,8	405,1	332,3	523,9
9 Испытательная станция	200	7344	480	3,8	8,05	5	36,7	0,95	34,9	11,5	114,9	93,1	147,9
10 Кузнечный цех	300	2880	232	5,0	—	—	14,1	0,95	13,4	4,4	232,9	177,0	292,5
11 Склад	100	2816	240	8,0	2,93	3	8,4	0,60	5,1	1,7	29,1	19,7	35,1
12 Заводоуправление	750	3264	260	3,2	7,85	15	49,0	0,90	44,1	14,5	111,6	56,3	125,0
13 Насосная	200	3168	228	4,0	6,95	5	15,8	0,95	15,0	4,9	495,0	428,3	654,6
14 Компрессорная	200	3168	228	4,0	6,95	5	15,8	0,90	14,3	4,7	135,3	95,4	165,5
Территория завода	—	155580	—	—	—	0,05	7,8	1	7,8	2,6	7,8	2,6	8,2
Итого по 0,38 кВ	—	ΣF _{п.п.} =96420		—	—	—	583,7	—	548,7	180,4	3328,2	2624,3	4238,4
Потребители электроэнергии выше 1000 В													
14 Компрессорная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1760,0	0,0	1760,0
Итого по 10 кВ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1760,0	0,0	1760,0

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

$$S_p^H = \sqrt{\left(\sum P_p^H + \sum P_{p.o}\right)^2 + \left(\sum Q_p^H + \sum Q_{p.o}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{(2779,5 + 548,7)^2 + (2443,9 + 180,4)^2} = 4238,4 \text{ кВА.}$$

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

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 4238,4 = 84,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 4238,4 = 423,8 \text{ кВАр},$$

$$\Delta P_L = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 4238,4 = 127,2 \text{ кВт},$$

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

ΔQ_T – потери реактивной мощности в цеховых трансформаторах, кВАр;

ΔP_L – потери активной мощности в линиях, кВт.

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

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

$$= (2779,5 + 1760,0) \cdot 0,95 + 548,7 + 84,8 + 127,2 = 5073,1 \text{ кВт},$$

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

$$= (2443,9 + 0) \cdot 0,95 + 180,4 + 423,8 = 2925,9 \text{ кВАр},$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{5073,1^2 + 2925,9^2} = 5856,4 \text{ кВА.}$$

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

Приблизительные потери мощности в трансформаторах ГПП

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 5856,4 = 117,1 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{T.ГПП} = 0,10 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 5856,4 = 585,6 \text{ кВАр},$$

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

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

Расчётная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП

$$\begin{aligned} S_p &= \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{т.ГПП})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{т.ГПП})^2} = \\ &= \sqrt{(5073,1 + 117,1)^2 + (2925,9 + 585,6)^2} = \\ &= \sqrt{5190,3^2 + 3511,6^2} = 6266,6 \text{ кВА}. \end{aligned}$$

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

$$U_{\text{эк}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{12,0} + \frac{2500}{5,190}}} = 43,7 \text{ кВ},$$

где L – длина питающей линии, км;

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

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

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

$$Q_c = \alpha \cdot P_p = 0,24 \cdot 5190,3 = 1245,7 \text{ кВАр},$$

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

Приблизительное значение мощности компенсирующих устройств

$$Q_{\text{кy}} = Q_{\text{p}} - Q_{\text{c}} = 3511,6 - 1245,7 = 2265,9 \text{ кВАр.}$$

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

$$\begin{aligned} S_{\text{p.ГПП}} &= \sqrt{P_{\text{p}}^2 + (Q_{\text{p}} - Q_{\text{кy}})^2} = \sqrt{5190,3^2 + (3511,6 - 2265,9)^2} = \\ &= \sqrt{5190,3^2 + 1245,7^2} = 5337,7 \text{ кВА.} \end{aligned}$$

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.

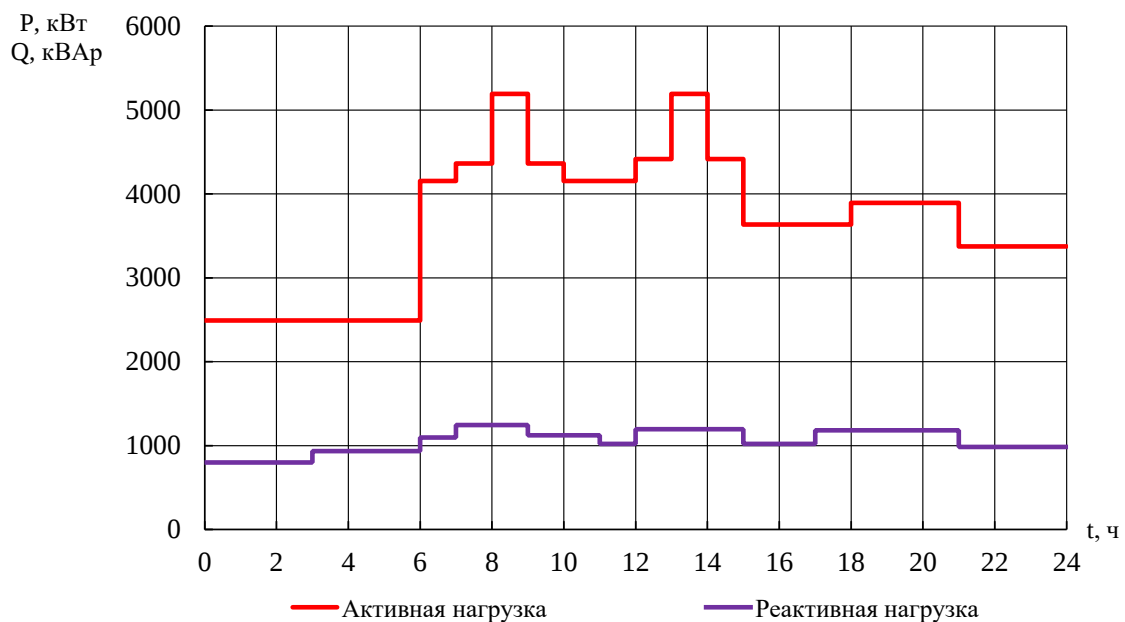


Рисунок 2.1 – Суточный график нагрузок предприятия

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

$$K_{\min} = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \frac{2491,3}{5190,3} = 0,480, \quad K_{\min} = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} = \frac{797,2}{1245,7} = 0,640.$$

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

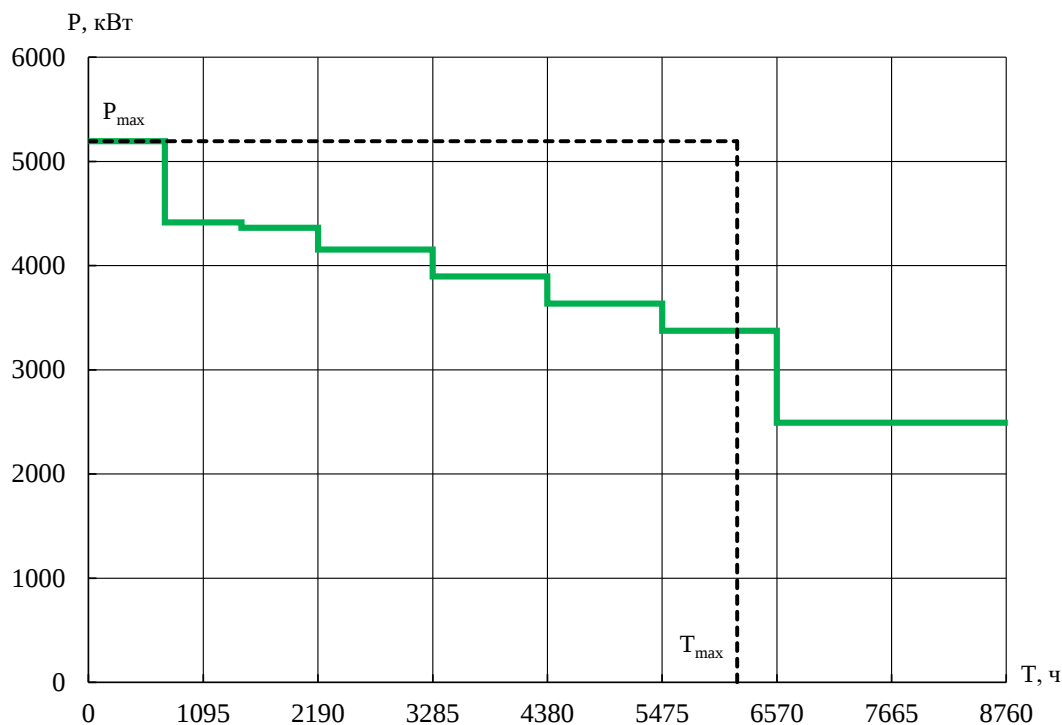


Рисунок 2.2 – Годовой график нагрузки по продолжительности

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

$$W_{\text{год}} = 32129853,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

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

$$T_{\max} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\max}} = \frac{32129853,1}{5190,3} = 6190,4 \text{ ч}.$$

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 соответствуют расчетным нагрузкам цехов. Силовые нагрузки до и выше 1000 В изображаются отдельными кругами. Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В.

Картограмма позволяет составить визуальное отображение структуры силовых нагрузок на предприятии. На основе построенной картограммы электрических нагрузок определяется центр электрических нагрузок, который является оптимальным метом для размещения источника питания.

В реальных условиях, учитывая наличие дорог, зданий и естественных препятствий 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 (Термическое отделение 1)

$$S_p = 741,4 \text{ кВА}, \quad S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{22,1^2 + 7,3^2} = 23,3 \text{ кВА},$$

$$x = 421,0 \text{ м}, \quad y = 407,0 \text{ м},$$

Радиус окружности для силовой нагрузки корпуса

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{741,4}{\pi \cdot 0,10}} = 48,6 \text{ м},$$

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 Термическое отделение 1	741,4	23,3	48,6	11,3	421,0	407,0	312150,4	301770,1	0,124	0,003	3046,091
2 Заготовительный цех	165,8	40,7	23,0	88,4	242,7	365,0	40233,0	60507,0	0,028	880,076	365,371
3 Сверлильный цех	206,6	49,6	25,6	86,5	457,6	306,1	94518,3	63225,6	0,034	45,743	108,302
4 Цех плашек	259,4	114,7	28,7	159,2	441,3	197,5	114451,5	51221,8	0,043	17,550	119,252
5 Цех метчиков	457,2	103,8	38,1	81,7	326,7	139,6	149369,6	63826,1	0,076	679,991	929,297
6 Деревообрабатывающий цех	159,6	28,1	22,5	63,4	121,1	145,7	19323,0	23248,2	0,027	2394,893	289,474
7 Ремонтно-механический цех	304,1	28,4	31,1	33,6	24,0	316,1	7298,1	96121,4	0,051	7995,989	221,372
8 Термическое отделение 2	523,9	47,4	40,8	32,6	349,1	75,0	182899,7	39293,8	0,087	453,445	2675,409
9 Испытательная станция	147,9	36,7	21,7	89,4	399,1	18,0	59011,0	2661,5	0,025	11,988	1326,955
10 Кузнечный цех	292,5	14,1	30,5	17,4	187,1	18,0	54725,3	5264,9	0,049	2671,180	2624,940
11 Склад	35,1	5,3	10,6	54,7	114,1	261,2	4004,5	9167,1	0,006	551,630	0,732
12 Заводоуправление	125,0	46,4	19,9	133,6	17,0	149,1	2124,5	18633,3	0,021	3403,025	212,184
13 Насосная	654,6	15,8	45,6	8,7	576,0	354,1	377042,3	231789,4	0,109	2616,595	1182,171
14 Компрессорная	165,5	15,0	23,0	32,6	576,0	276,8	95348,7	45820,4	0,321	7696,985	230,249
Потребители электроэнергии выше 1000 В											
13 Компрессорная	1760,0	–	74,8	–	576,0	276,8	1013760,0	487168,0	–	–	–
Итого	5998,4	–	–	–	–	–	2526259,8	1499718,6	–	29419,1	13331,8

Угол сектора нагрузки освещения корпуса

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot S_{p.o}}{S_p} = \frac{360^\circ \cdot 23,3}{741,4} = 11,3 \text{ град.}$$

Тогда

$$S_p \cdot x = 741,4 \cdot 421,0 = 312150,4 \text{ кВА} \cdot \text{м},$$

$$S_p \cdot y = 741,4 \cdot 407,0 = 301770,1 \text{ кВА} \cdot \text{м}.$$

Координаты центра электрических нагрузок предприятия

$$x_0 = \frac{\sum(S_{p.i} \cdot x_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{2526259,8}{5998,4} = 421,2 \text{ м},$$

$$y_0 = \frac{\sum(S_{p.i} \cdot y_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{1499718,6}{5998,4} = 250,0 \text{ м}.$$

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).

$$S_x = S_y = \frac{S_p}{\sum_{i=1}^n S_{p.i}} = \frac{741,4}{5998,4} = 0,124,$$

$$\sigma_x^2 = S_x \cdot (x - x_0)^2 = 0,124 \cdot (421,0 - 421,2)^2 = 0,00288,$$

$$\sigma_y^2 = S_y \cdot (y - y_0)^2 = 0,124 \cdot (407,0 - 250,0)^2 = 3046,091.$$

Параметры нормального закона распределения

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n S_{x_i} \cdot (x_i - x_0)^2 = 29419,1, \quad \sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n S_{y_i} \cdot (y_i - y_0)^2 = 13331,8,$$

$$h_x = \frac{1}{\sqrt{\sigma_x} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{29419,1} \cdot \sqrt{2}} = 0,0041,$$

$$h_y = \frac{1}{\sqrt{\sigma_y} \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{13331,8} \cdot \sqrt{2}} = 0,0061.$$

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

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0041} = 420,1 \text{ м}, \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0061} = 282,8 \text{ м}.$$

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.

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.

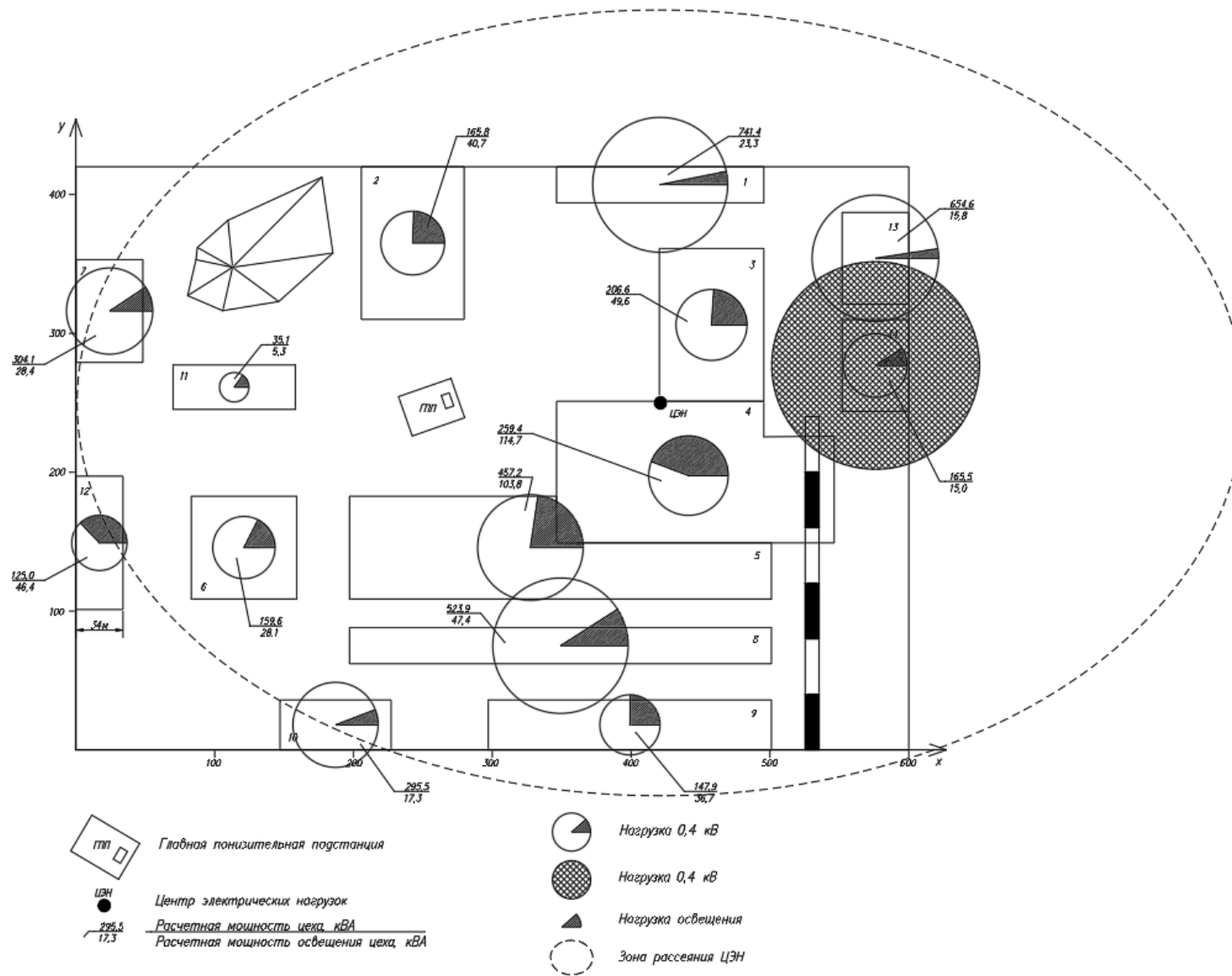


Рисунок 2.3 – Картограмма нагрузок

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]

$$\sigma = \frac{S_p^H}{\sum F_{п.п.}} = \frac{4238,4}{96420,4} = 0,044 \text{ кВА/м}^2,$$

принимаем $S_{ном.т} = 630 \text{ кВА}$.

Минимальное число цеховых трансформаторов

$$N_{т.0} = \frac{\sum (P_p^H + P_{п.о})}{\beta_T \cdot S_{ном.т}} = \frac{3328,2}{0,7 \cdot 630} = 7,55 \text{ шт},$$

принимаем $N_T = 8 \text{ шт}$.

Активная нагрузка на один трансформатор

$$P_1 = \frac{\sum (P_p^H + P_{п.о})}{N_T} = \frac{3328,2}{8} = 416,0 \text{ кВт}.$$

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

$$N_{т.i} = \frac{P_{п.i}}{P_1} = \frac{562,1}{416,0} = 1,351 \text{ шт}.$$

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	$P_{p,i}$, кВт	Количество тр-ов N_i , шт
1 Термическое отделение 1	II	562,1	1,351
2 Заготовительный цех	III	128,7	0,309
3 Сверлильный цех	III	167,2	0,402
4 Цех плашек	III	221,4	0,532
5 Цех метчиков	III	368,6	0,886
6 Деревообрабатывающий цех	III	126,7	0,305
7 Ремонтно-механический цех	III	222,0	0,534
8 Термическое отделение 2	II	405,1	0,974
9 Испытательная станция	III	114,9	0,276
10 Кузнечный цех	II	232,9	0,560
11 Склад	III	29,1	0,070
12 Заводоуправление	III	111,6	0,268
13 Насосная	II	495,0	1,190
14 Компрессорная	II	135,3	0,325

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-630/10	0,63	10,0	0,4	1,56	12,6	8,5	34,7	5,5	2,00

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

Пример расчета коэффициента загрузки по активной мощности для ТП1

$$\beta_{т.расч} = \frac{P_{р.ТП1}}{N_{т.ТП1} \cdot S_{ном.т}} = \frac{857,9}{2 \cdot 630} = 0,681 < \beta_t = 0,7,$$

коэффициент загрузки по активной мощности соответствует норме для двухтрансформаторной подстанции.

Пример расчета коэффициента загрузки по полной мощности для ТП1

$$\beta_{т.расч} = \frac{S_{р.ТП1}}{N_{т.ТП1} \cdot S_{ном.т}} = \frac{1080,9}{2 \cdot 630} = 0,858 > \beta_t = 0,7,$$

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	630	5, 6, 7, 11, 12	Цех №6	857,9	651,3	1080,9	0,681	0,858
ТП2	2	630	1, 2, 3	Цех №1	857,9	709,4	1113,8	0,681	0,884
ТП3	2	630	4, 13, 14	Цех №14	851,7	658,7	1079,5	0,676	0,857
ТП4	2	630	8 - 10	Цех №8	752,8	602,4	964,3	0,597	0,765

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

$$\cos\varphi_{\text{треб}} = 0,85, \quad \text{tg}\varphi_{\text{треб}} = 0,62.$$

Начальный коэффициент мощности ТП1

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = \frac{Q_{\text{ТП1}}}{P_{\text{ТП1}}} = \frac{651,3}{857,9} = 0,76.$$

Расчетная мощность конденсаторных установок

$$Q_{\text{КУ. расч}} = P_{\text{ТП1}} \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{факт}} - \text{tg}\varphi_{\text{треб}}) = 857,9 \cdot (0,76 - 0,62) = 119,6 \text{ кВАр}.$$

Принимаем две установки типа УКРМ 58-0,4-225 У3 [12].

Полная реактивная мощность, генерируемая УКРМ

$$Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{КУ.ном}} \cdot n_{\text{КУ}} = 225,0 \cdot 2 = 450,0 \text{ кВАр}.$$

Полная мощность ТП1 с учетом мощности УКРМ

$$S_{p.ТП1} = \sqrt{P_{ТП1}^2 + (Q_{ТП1} - Q_{КУ})^2} = \sqrt{857,9^2 + (651,3 - 450,0)^2} = 881,2 \text{ кВА.}$$

Коэффициент загрузки ТП1 с учетом компенсации реактивной мощности

$$\beta_{з.ТП1} = \frac{S_{p.ТП1}}{N_{т.ТП1} \cdot S_{ном.т}} = \frac{881,2}{2 \cdot 630} = 0,699,$$

коэффициент загрузки соответствует норме.

Результирующий коэффициент мощности ТП1

$$\text{tg}\varphi_{рез} = \frac{Q_{ТП1} - Q_{КУ}}{P_{ТП1}} = \frac{651,3 - 450,0}{857,9} = 0,23, \quad \cos\varphi_{рез} = 0,97,$$

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	857,9	651,3	0,85	0,62	0,76	119,6	225,0	2	881,2	0,699	0,97
ТП2	2	857,9	709,4	0,80	0,75	0,83	65,9	275,0	2	872,6	0,693	0,98
ТП3	2	851,7	658,7	0,80	0,75	0,77	19,9	225,0	2	876,9	0,696	0,97
ТП4	2	752,8	602,4	0,80	0,75	0,80	37,7	75,0	2	878,3	0,697	0,86

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.

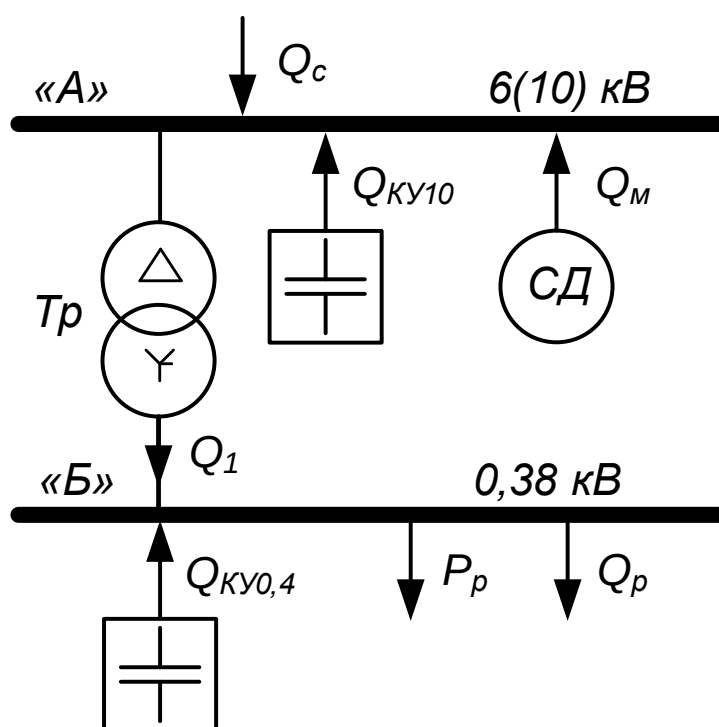


Рисунок 2.4 – Схема распределения реактивной мощности

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

- номинальная напряжение двигателя $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$;
- номинальная активная мощность $P_{\text{СД}} = 2000 \text{ кВт}$;
- номинальная реактивная мощность $Q_{\text{СД}} = 1000 \text{ кВАр}$;
- КПД $\eta = 96,48 \%$;
- число двигателей $n_{\text{СД}} = 2$.

Коэффициент загрузки синхронных двигателей по активной мощности

$$\beta_{\text{сд}} = \frac{P_{\text{синх}}}{P_{\text{сд}} \cdot n_{\text{сд}}} = \frac{3200}{2000 \cdot 2} = 0,80,$$

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

Напряжение на зажимах синхронного двигателя

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

Суммарная располагаемая реактивная мощность двигателей

$$Q_{\text{м}} = \frac{n_{\text{сд}} \cdot \alpha_{\text{м}} \cdot Q_{\text{сд}}}{\eta} = \frac{2 \cdot 1,34 \cdot 1000}{96,48} \cdot 100 = 2777,8 \text{ кВАр},$$

где $\alpha_{\text{м}}$ – 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

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sqrt{(N_{\text{т}} \cdot \beta \cdot S_{\text{ном.т}})^2 - \left(\sum (P_{\text{п}} + P_{\text{р.о}}) \right)^2} = \\ &= \sqrt{(8 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 3328,2^2} = 1170,4 \text{ кВАр}. \end{aligned}$$

Расчётная мощность конденсаторных установок в узле "А"

$$Q_{\text{ку, расч}} = Q_1 - Q_{\text{с}} - Q_{\text{м}} = 1170,4 - 1245,7 = 2777,8 = -2853,0 \text{ кВАр}.$$

Компенсация в узле "А" не требуется

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

Требуемая мощность конденсаторных установок в узле "Б"

$$Q_{\text{КУ. треб}} = \sum (Q_p^H + Q_{p.o}) - Q_1 = 2624,3 - 1170,4 = 1453,9 \text{ кВАр.}$$

Суммарная мощность компенсирующих устройств по таблице 2.7

$$Q_{\text{КУ}}^{\text{"Б"}} = \sum (Q_{\text{КУ. ном}} \cdot n_{\text{КУ}}) = 1600,0 \text{ кВАр.}$$

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

$$Q_{\text{КУ. расч}} = Q_{\text{треб}} - Q_{\text{КУ.}\Sigma}^B = 1453,9 - 1600,0 = -146,1 \text{ кВАр.}$$

Установка дополнительных компенсирующих устройств в узле "Б" не требуется

$$Q_{\text{КУ}}^{\text{"Б"}} = 1600,0 \text{ кВАр.}$$

Суммарная генерируемая мощность компенсирующих устройств

$$Q_{\text{КУ}} = Q_m + Q_{\text{КУ}}^A + Q_{\text{КУ}}^B = 2777,8 + 0 + 1600,0 = 4377,8 \text{ кВАр.}$$

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

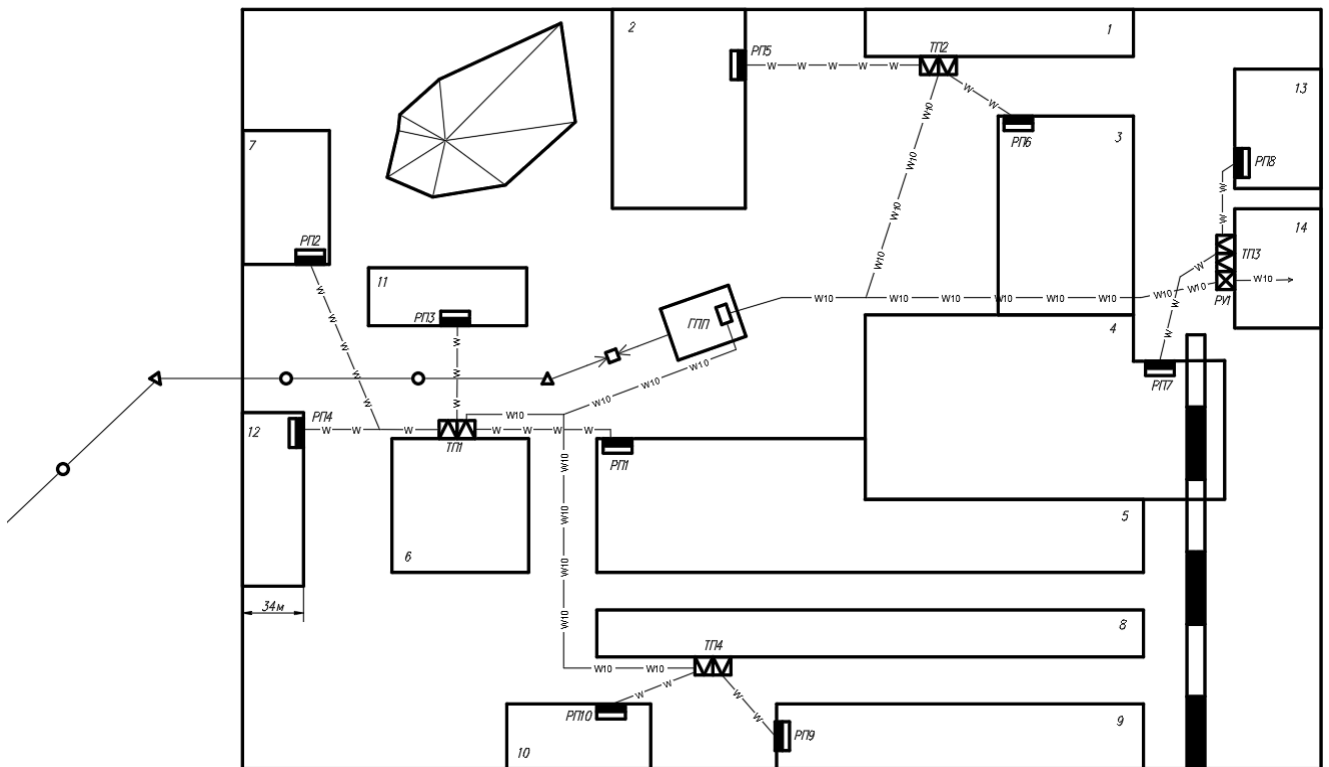


Рисунок 2.5 – План предприятия с предварительным расположением объектов электроснабжения

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

$$\begin{aligned} S_{p.гпп} &= \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{кв})^2} = \sqrt{5190,3^2 + (3511,6 - 4377,8)^2} = \\ &= \sqrt{5190,3^2 + (-866,2)^2} = 5262,1 \text{ кВА.} \end{aligned}$$

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.

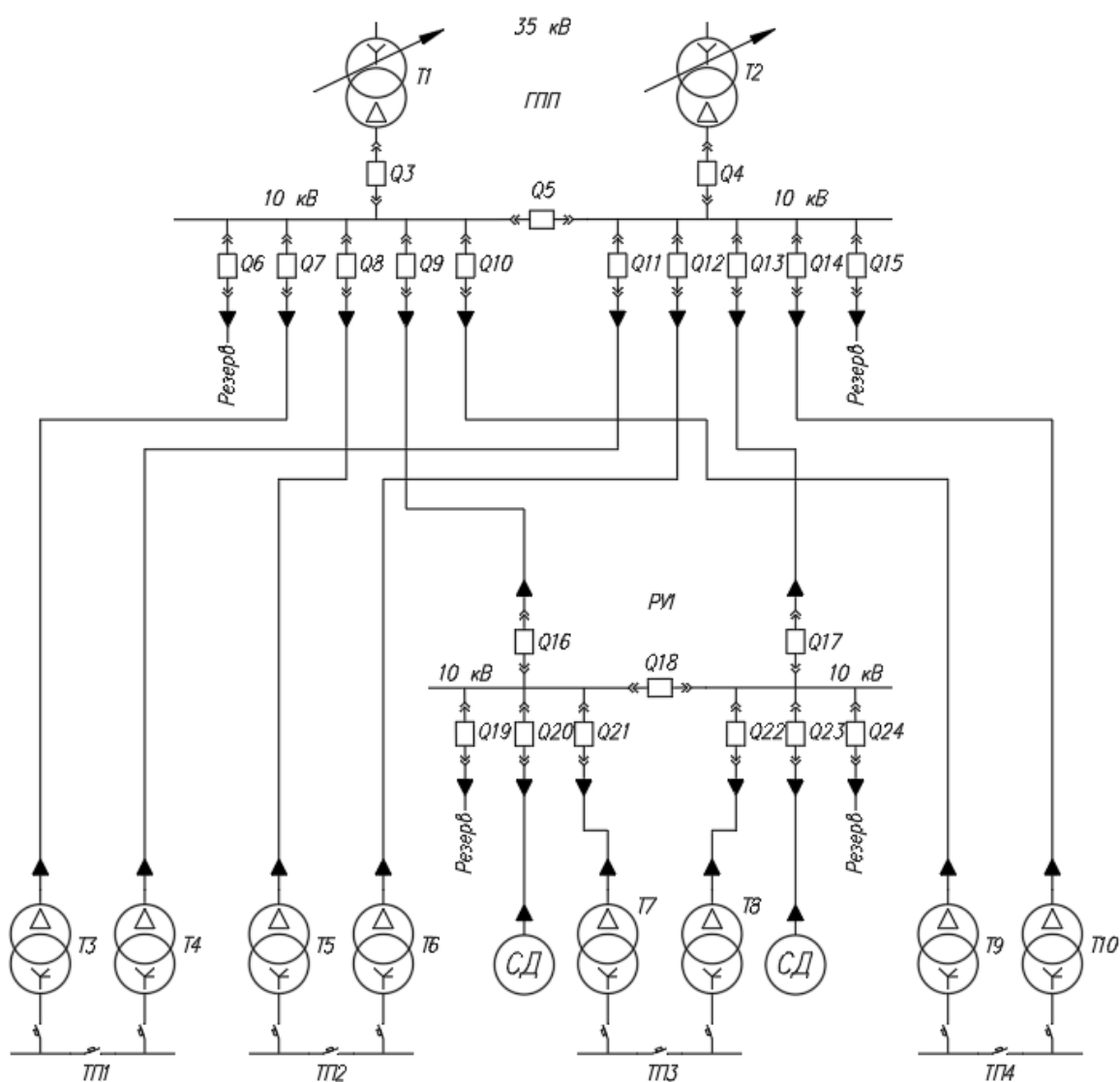


Рисунок 2.6 – Упрощенная схема питания цеховых подстанций и высоковольтных электроприёмников

Примеры расчета

Участок ГПП – ТП1

Потери мощности в трансформаторах в длительном режиме работы

$$\Delta P_T = n_T \cdot (P_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 2 \cdot (1,56 + 0,699^2 \cdot 8,5) = 11,4 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_{кз}) = 2 \cdot (12,6 + 0,699^2 \cdot 34,7) = 59,1 \text{ кВар},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{11,4^2 + 59,1^2} = 60,2 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток на одну цепь в длительном режиме работы

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_T \cdot \beta_T \cdot S_{\text{ном.Т}} + \Delta S_T}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 630 + 60,2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 27,2 \text{ А}.$$

Потери мощности в трансформаторах в послеаварийном режиме работы

$$\Delta P_T = n_T \cdot (P_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 1 \cdot (1,56 + 1,399^2 \cdot 8,5) = 18,2 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_{кз}) = 1 \cdot (12,6 + 1,399^2 \cdot 34,7) = 80,4 \text{ кВар},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{18,2^2 + 80,4^2} = 82,4 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток на одну цепь в послеаварийном режиме работы

$$I_{\text{п.ав}} = \frac{n_T \cdot \beta_T \cdot S_{\text{ном.Т}} + \Delta S_T}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1 \cdot 1,4 \cdot 630 + 82,4}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 55,7 \text{ А}.$$

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

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{27,2}{1,2} = 22,7 \text{ мм}^2,$$

где $j_{\text{э}}$ – 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 $I_{\text{доп}} = 156 \text{ А}$.

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

$$L_{\text{факт}} = 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = \\ = 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + 0,176) = 0,197 \text{ км},$$

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

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,80 \cdot 1,15 \cdot 156 = 143,5 \text{ А} > I_{\text{п.ав}} = 55,7 \text{ А},$$

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]

$$\cos \varphi = 0,97, \quad \sin \varphi = 0,23,$$

$$\Delta U = 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left(\frac{r_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{\text{ц}}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ = 3 \cdot 27,2 \cdot 0,197 \cdot \left(\frac{0,641}{2} \cdot 0,97 + \frac{0,168}{2} \cdot 0,23 \right) = 5,332 \text{ В}, \\ \Delta U_{\text{ном, \%}} = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{5,332}{10000} \cdot 100\% = 0,053\% < 5\%.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Участок ГПП – РУ1

Потери мощности в трансформаторах в длительном режиме работы

$$\Delta P_{\text{Т}} = n_{\text{Т}} \cdot (\Delta P_{\text{ХХ}} + \beta_{\text{Т}}^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}}) = 2 \cdot (1,56 + 0,696 \cdot 8,5) = 11,4 \text{ кВт}, \\ \Delta Q_{\text{Т}} = n_{\text{Т}} \cdot (\Delta Q_{\text{ХХ}} + \beta_{\text{Т}}^2 \cdot \Delta Q_{\text{КЗ}}) = 2 \cdot (12,6 + 0,696^2 \cdot 34,7) = 58,8 \text{ кВар}, \\ \Delta S_{\text{Т}} = \sqrt{\Delta P_{\text{Т}}^2 + \Delta Q_{\text{Т}}^2} = \sqrt{11,4^2 + 58,8^2} = 59,9 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток на одну цепь в длительном режиме работы

$$I_{\text{расч}} = \frac{n_{\text{Т}} \cdot \beta_{\text{Т}} \cdot S_{\text{ном.Т}} + \Delta S_{\text{Т}} + S_{\text{вн}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 630 + 59,9 + 1760,0}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 78,0 \text{ А},$$

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

Потери мощности в трансформаторах в послеаварийном режиме работы

$$\Delta P_T = n_T \cdot (P_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta P_{кз}) = 1 \cdot (1,56 + 1,392^2 \cdot 8,5) = 18,0 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = n_T \cdot (\Delta Q_{xx} + \beta_T^2 \cdot \Delta Q_{кз}) = 1 \cdot (12,6 + 1,392^2 \cdot 34,7) = 79,7 \text{ кВАр},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{18,0^2 + 79,7^2} = 81,7 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме работы

$$I_{п.ав} = \frac{n_T \cdot \beta_T \cdot S_{ном.т} + \Delta S_T + S_{вн}}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1 \cdot 1,4 \cdot 630 + 81,7 + 1760,0}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 157,3 \text{ А}.$$

Минимальное экономически обоснованное сечение проводника

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч}}}{j_{\text{э}}} = \frac{78,0}{1,2} = 78,0 \text{ мм}^2.$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки АПвБбШп [20] $S = 150/16 \text{ мм}^2$ с $I_{\text{доп}} = 300 \text{ А}$.

Фактическая длина кабельной линии

$$\begin{aligned} L_{\text{факт}} &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = \\ &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + 0,273) = 0,300 \text{ км}. \end{aligned}$$

Проверка по перегрузочной способности

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,80 \cdot 1,15 \cdot 300 = 276,0 \text{ А} > I_{п.ав} = 157,3 \text{ А},$$

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

$$\cos \varphi = 1,0, \quad \sin \varphi = 0,08,$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 3 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L_{\text{факт}} \cdot \left(\frac{r_0}{n_{ц}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{ц}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= 3 \cdot 78,0 \cdot 0,300 \cdot \left(\frac{0,206}{2} \cdot 1,0 + \frac{0,143}{2} \cdot 0,08 \right) = 7,612 \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\text{ном, \%}} = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{7,612}{10000} \cdot 100\% = 0,076\% < 5\%.$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Участок РУ1-Высоковольтный электроприёмник

Расчетный ток

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 10,0 \cdot 0,76} = 152,9 \text{ А},$$

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

Минимальное экономически обоснованное сечение проводника

$$S_э = \frac{I_{расч}}{j_э} = \frac{152,9}{1,2} = 127,4 \text{ мм}^2.$$

Намечаем кабель ближайшего стандартного сечения марки АПвБбШп [20] $S = 150/16 \text{ мм}^2$ с $I_{доп} = 300 \text{ А}$.

Фактическая длина кабельной линии

$$\begin{aligned} L_{факт} &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + L) = \\ &= 1,04 \cdot 1,02 \cdot (0,005 + 0,005 + 0,042) = 0,055 \text{ км}. \end{aligned}$$

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

$$I'_{доп} = K_{пр} \cdot I_{доп} = 0,90 \cdot 300 = 270,0 \text{ А} > I_{расч} = 152,9.$$

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

$$\cos \varphi = 0,76, \quad \sin \varphi = 0,66,$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= 3 \cdot I_{расч} \cdot L_{факт} \cdot \left(\frac{r_0}{n_{ц}} \cdot \cos \varphi + \frac{x_0}{n_{ц}} \cdot \sin \varphi \right) = \\ &= 3 \cdot 152,9 \cdot 0,055 \cdot (0,206 \cdot 0,76 + 0,143 \cdot 0,66) = 6,308 \text{ В}, \\ \Delta U_{ном,\%} &= \frac{\Delta U}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{6,308}{10000} \cdot 100\% = 0,063\% < 5\%. \end{aligned}$$

Выбранное сечение проходит по результатам проверок.

Дальнейшие расчеты сводим в таблицы 2.9 и 2.10.

Таблица 2.9 – Выбор сечений проводников сети выше 1000 В

Участок	Мощность участка, кВА	$\Delta S_{г.дл.}$, кВА	$\Delta S_{г.ав.}$, 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	1260,0	60,2	84,2	10,0	0,197	2	27,2	55,7	22,7	АПвБбШп - 3 × 50/16	0,80	1,15	143,5
ГПП–ТП2	1260,0	59,5	81,1	10,0	0,230	2	27,2	55,6	22,6	АПвБбШп - 3 × 50/16	0,78	1,15	139,9
РУ1–ТП3	1260,0	59,9	81,7	10,0	0,027	2	27,2	55,6	22,7	АПвБбШп - 3 × 50/16	0,78	1,15	139,9
ГПП–ТП4	1260,0	60,0	82,0	10,0	0,362	2	27,2	55,7	22,7	АПвБбШп - 3 × 50/16	0,90	1,15	161,5
ГПП–РУ1	3020,0	59,9	81,7	10,0	0,300	2	78,0	157,3	65,0	АПвБбШп - 3 × 150/16	0,80	1,15	276,0
РУ1–СД	2648,4	–	–	10,0	0,055	1	152,9	–	127,4	АПвБбШп - 3 × 150/16	0,90	–	270,0

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	cosφ	sinφ	ΔU _{ном} , %
ГПП–ТП1	10,0	АПвБбШп-3 × 50/16	0,197	27,2	2	0,641	0,168	0,97	0,23	0,053
ГПП–ТП2	10,0	АПвБбШп-3 × 50/16	0,230	27,2	2	0,641	0,168	0,98	0,18	0,062
РУ1–ТП3	10,0	АПвБбШп-3 × 50/16	0,027	27,2	2	0,641	0,168	0,97	0,24	0,007
ГПП–ТП4	10,0	АПвБбШп-3 × 50/16	0,362	27,2	2	0,641	0,168	0,86	0,52	0,094
ГПП–РУ1	10,0	АПвБбШп-3 × 150/16	0,300	78,0	2	0,206	0,143	1,00	0,08	0,076
РУ1–СД	10,0	АПвБбШп-3 × 150/16	0,055	152,9	1	0,206	0,143	0,76	0,66	0,063

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

$$P_p = 368,6 \text{ кВт}, \quad S_p = 457,2 \text{ кВА}, \quad \cos \varphi = \frac{P_p}{S_p} = \frac{368,6}{457,2} = 0,81.$$

Расчётный ток РП

$$I_p = \frac{S_p}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{457,2}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,38} = 694,7 \text{ А}.$$

Намечаем кабель марки 1×ВБбШв- 3(5×120) с I_{доп} = 885 А [15].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{доп} = 885 \text{ А} > \frac{I_p}{K_{пр}} = \frac{694,7}{0,85} = 817,2 \text{ А},$$

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

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,026 \cdot 694,7 \cdot 0,096 = 1,7\% < 5\%,$$

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	$n_{шт}$, шт	ΔU_0 , %/(А·км)	l , км	ΔU , %
ТП1- РП1	368,6	457,2	0,81	694,7	1×ВБ6Шв-3(5×120)	885	0,85	817,2	1	0,026	0,096	1,7
ТП1- РП2	222,0	304,1	0,73	462,0	1×ВБ6Шв-2(5×120)	590	0,85	543,5	1	0,039	0,151	2,7
ТП1- РП3	29,1	35,1	0,83	53,3	1×ВБ6Шв-2(5×16)	95	1,00	53,3	1	0,494	0,067	1,8
ТП1- РП4	111,6	125,0	0,89	189,9	1×ВБ6Шв-1(5×95)	259	0,85	223,4	1	0,096	0,090	1,6
ТП2- РП5	128,7	165,8	0,78	251,9	1×ВБ6Шв-1(5×95)	259	1,00	251,9	1	0,093	0,114	2,7
ТП2- РП6	167,2	206,6	0,81	313,8	1×ВБ6Шв-1(5×150)	333	1,00	313,8	1	0,066	0,056	1,2
ТП3- РП7	221,4	259,4	0,85	394,0	1×ВБ6Шв-2(5×95)	518	0,90	437,8	1	0,048	0,087	1,6
ТП3- РП8	495,0	654,6	0,76	497,3	2×ВБ6Шв-1(5×120)	590	0,90	552,5	2	0,039	0,056	1,1
ТП4- РП9	114,9	147,9	0,78	224,7	1×ВБ6Шв-1(5×95)	259	1,00	224,7	1	0,093	0,058	1,2

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. Расчетная мощность трансформаторов ГПП

$$S_{т.расч} = \frac{S_{р.ГПП}}{n_{т} \cdot \beta_{т}} = \frac{5262,1}{2 \cdot 0,55} = 4783,7 \text{ кВА},$$

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-6300/35.

Параметры выбранных трансформаторов приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Параметры трансформаторов [15]

Тип	$S_{ном},$ МВА	$U_{вн},$ кВ	$U_{ин},$ кВ	$P_{хх},$ кВт	$Q_{хх},$ кВАр	$P_{кз},$ кВт	$Q_{кз},$ кВАр	$U_{к},$ %	$I_{хх},$ %
ТМН-6300/35	6,3	35,0	11,0	9,2	56,7	46,5	472,5	7,5	0,90

Выбор сечения провода проводится по экономической плотности тока.

Расчетный ток на одну цепь

$$I_{расч} = \frac{S_{р.ГПП}}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{5262,1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 43,4 \text{ А}.$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме

$$I_{п.ав} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{5262,1}{\sqrt{3} \cdot 35} = 86,8 \text{ А}.$$

Минимальное экономически обоснованное сечение проводника

$$S_{э} = \frac{I_{расч}}{j_{э}} = \frac{43,4}{1} = 43,4 \text{ мм}^2,$$

где j_0 – нормированное значение экономической плотности тока с учетом числа часов использования максимальной нагрузки [16, табл. 1.3.36], А/мм².

Из стандартного ряда сечений принимаем сталеалюминевый провод марки АС-120/19 с $I_{\text{доп}} = 390$ 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.

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

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

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

Трансформаторы

$$X_3 = \frac{U_{\text{к, \%}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,190.$$


$$X_4 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,168 \cdot 0,362 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,055.$$

Кабельная линия, питающий высоковольтное РУ

$$R_5 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,206 \cdot 0,300 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,056,$$

$$X_5 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,143 \cdot 0,300 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,039.$$

Кабельная линия, питающая высоковольтный двигатель

$$R'_6 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,206 \cdot 0,055 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,010,$$

$$X'_6 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{\text{ср.ном2}}^2} = 0,143 \cdot 0,055 \cdot \frac{100}{1 \cdot 10,5^2} = 0,007.$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$R_6 = \frac{R'_6}{n_{\text{д}}} = \frac{0,010}{2} = 0,005, \quad X_6 = \frac{X'_6}{n_{\text{д}}} = \frac{0,007}{2} = 0,004.$$

Высоковольтный двигатель

сопротивление одного двигателя

$$X'_7 = \frac{x''_d \cdot S_6}{S_{\text{ном}}} = \frac{0,280 \cdot 100}{2,648} = 10,572,$$

с учетом того, что на предприятии несколько двигателей

$$X_7 = \frac{X'_7}{n_{\text{д}}} = \frac{10,572}{2} = 5,286.$$

а) Точка К1

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К1

$$R_{\text{с}} = R_2 = 0,214 \quad X_{\text{с}} = X_1 + X_2 = 0 + 363 = 0,363.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К1

$$R_{\text{д}} = R_5 + R_6 = 0,056 + 0,005 = 0,061,$$

$$X_{\text{д}} = X_3 + X_5 + X_6 + X_7 = 1,190 + 0,039 + 0,004 + 5,286 = 6,519.$$

Результирующее сопротивление в точке К1

$$R_{\text{рез1}} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,214 \cdot 0,061}{0,214 + 0,061} = 0,048,$$

$$X_{\text{рез1}} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{0,363 \cdot 6,519}{0,363 + 6,519} = 0,344,$$

$$Z_{\text{рез1}} = \sqrt{R_{\text{рез1}}^2 + X_{\text{рез1}}^2} = \sqrt{0,048^2 + 0,344^2} = 0,347.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К1

$$I_{\text{к1}} = \frac{I_{\text{б1}}}{Z_{\text{рез1}}} = \frac{1,560}{0,347} = 4,50 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{\text{а1}} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{0,344}{314 \cdot 0,048} = 0,0230 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{\text{а1}}} = 1 + e^{-0,01/0,0230} = 1,647.$$

Ударный ток КЗ в точке К1

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд1}} \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,647 \cdot 4,50 = 10,5 \text{ кА.}$$

б) Точка К2

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К2

$$R_C = R_2 = 0,214, \quad X_C = X_1 + X_2 + X_3 = 0 + 0,363 + 1,190 = 1,553.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К2

$$R_D = R_5 + R_6 = 0,056 + 0,005 = 0,061,$$

$$X_D = X_5 + X_6 + X_7 = 0,039 + 0,004 + 5,286 = 5,329.$$

Результирующее сопротивление в точке К2

$$R_{\text{рез2}} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,214 \cdot 0,061}{0,214 + 0,061} = 0,048,$$

$$X_{\text{рез2}} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{1,553 \cdot 5,329}{1,553 + 5,329} = 1,203,$$

$$Z_{\text{рез2}} = \sqrt{R_{\text{рез2}}^2 + X_{\text{рез2}}^2} = \sqrt{0,048^2 + 1,203^2} = 1,204.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К2

$$I_{к2} = \frac{I_{62}}{Z_{рез2}} = \frac{5,499}{1,204} = 4,57 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a2} = \frac{X_{рез2}}{\omega \cdot R_{рез2}} = \frac{1,203}{314 \cdot 0,048} = 0,0805 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд2} = 1 + e^{-0,01/T_{a2}} = 1 + e^{-0,01/0,0805} = 1,883.$$

Ударный ток КЗ в точке К2

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2} \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1,883 \cdot 4,57 = 12,2 \text{ кА.}$$

в) Точка К3

Сопротивление от источника до точки К3

$$R_{рез3} = R_{рез2} + R_4 = 0,048 + 0,210 = 0,258,$$

$$X_{рез3} = X_{рез2} + X_4 = 1,203 + 0,055 = 1,258,$$

$$Z_{рез3} = \sqrt{R_{рез3}^2 + X_{рез3}^2} = \sqrt{0,258^2 + 1,258^2} = 1,284.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К3

$$I_{к3} = \frac{I_{62}}{Z_{рез3}} = \frac{5,499}{1,284} = 4,28 \text{ кА.}$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a3} = \frac{X_{рез3}}{\omega \cdot R_{рез3}} = \frac{1,258}{314 \cdot 0,258} = 0,0155 \text{ с.}$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд3} = 1 + e^{-0,01/T_{a3}} = 1 + e^{-0,01/0,0155} = 1,525.$$

Ударный ток КЗ в точке К3

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot k_{уд3} \cdot I_{к3} = \sqrt{2} \cdot 1,525 \cdot 4,28 = 9,2 \text{ кА.}$$

г) Точка К4

Эквивалентное сопротивление цепочки системы относительно точки К4

$$R_C = R_2 + R_5 = 0,214 + 0,056 = 0,270,$$

$$X_C = X_1 + X_2 + X_3 + X_5 = 0 + 0,363 + 1,190 + 0,039 = 1,592.$$

Эквивалентное сопротивление цепочки двигателя относительно точки К4

$$R_D = R_6 = 0,005, \quad X_D = X_6 + X_7 = 0,004 + 5,286 = 5,290.$$

Резльтирующее сопротивление в точке К4

$$R_{рез4} = \frac{R_C \cdot R_D}{R_C + R_D} = \frac{0,270 \cdot 0,005}{0,270 + 0,005} = 0,005,$$

$$X_{рез4} = \frac{X_C \cdot X_D}{X_C + X_D} = \frac{1,592 \cdot 5,290}{1,592 + 5,290} = 1,224,$$

$$Z_{рез4} = \sqrt{R_{рез4}^2 + X_{рез4}^2} = \sqrt{0,005^2 + 1,224^2} = 1,224.$$

Действующее значение тока КЗ в точке К4

$$I_{к4} = \frac{I_{62}}{Z_{рез4}} = \frac{5,499}{1,224} = 4,49 \text{ кА}.$$

Постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ

$$T_{a4} = \frac{X_{рез4}}{\omega \cdot R_{рез4}} = \frac{1,224}{314 \cdot 0,005} = 0,7708 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{уд4} = 1 + e^{-0,01/T_{a4}} = 1 + e^{-0,01/0,7708} = 1,987.$$

Ударный ток КЗ в точке К4

$$i_{уд4} = \sqrt{2} \cdot k_{уд4} \cdot I_{к4} = \sqrt{2} \cdot 1,987 \cdot 4,49 = 12,6 \text{ кА}.$$

Расчет токов КЗ сведем в таблицу 2.13.

Таблица 2.13 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка КЗ	$U_{ср.ном},$ кВ	$I_6,$ кА	$R_{рез}$	$X_{рез}$	$Z_{рез}$	$I_k,$ кА	$\frac{X_{рез}}{R_{рез}}$	$k_{уд}$	$i_{уд},$ кА
К1	37,0	1,560	0,048	0,344	0,347	4,50	0,0230	1,647	10,5
К2	10,5	5,499	0,048	1,203	1,204	4,57	0,0805	1,883	12,2
К3	10,5	5,499	0,258	1,258	1,284	4,28	0,0155	1,525	9,2
К4	10,5	5,499	0,005	1,224	1,224	4,49	0,7708	1,987	12,6

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

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

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

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

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

Проверка по условию термической стойкости

$$I_{к.з(\tau)} = 5,83 \text{ кА} > I_{к2}^{(3)} = 4,57 \text{ кА}.$$

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

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,57 = 3,956 \text{ кА}.$$

Проверка по условию термической стойкости медного экрана

$$I_{к.з.э(\tau)} = 4,093 \text{ кА} > I_{к2}^{(3)} = 3,956 \text{ кА}.$$

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

$$I_{к.з(\tau)} = \frac{I_{к.з(1с)}}{\sqrt{\tau}} = \frac{14,2}{\sqrt{0,65}} = 17,61 \text{ кА.}$$

Проверка по условию термической стойкости

$$I_{к.з(\tau)} = 17,61 \text{ кА} > I_{к4}^{(3)} = 4,49 \text{ кА.}$$

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

$$I_{к4}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к4}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,49 = 3,891 \text{ кА.}$$

Проверка по условию термической стойкости медного экрана

$$I_{к.з.э(\tau)} = 4,093 \text{ кА} > I_{к4}^{(3)} = 3,891 \text{ кА.}$$

Предварительно выбранное сечение медного экрана по термической стойкости проходит.

Проверку выбранных сечений сведём в таблицу 2.14.

Таблица 2.14 – Результаты проверки выбранных сечений

Точка КЗ	τ , с	$I_{к.з.(1с)}$, кА	$I_{к.з.(т)}$, кА	$I_k^{(3)}$, кА	$S_{жил}$, мм ²	$I_{к.з.э(1с)}$, кА	$I_{к.з.э(т)}$, кА	$I_k^{(2)}$, кА	$S_{м.э}$, мм ²
ГПП–ТП	0,65	4,7	5,83	4,57	50	3,3	4,093	3,956	16
ГПП–РУ1	0,65	4,7	5,83	4,57	150	3,3	4,093	3,956	16
РУ1–СД	0,65	14,2	17,61	4,49	150	3,3	4,093	3,891	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 напрямую 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.

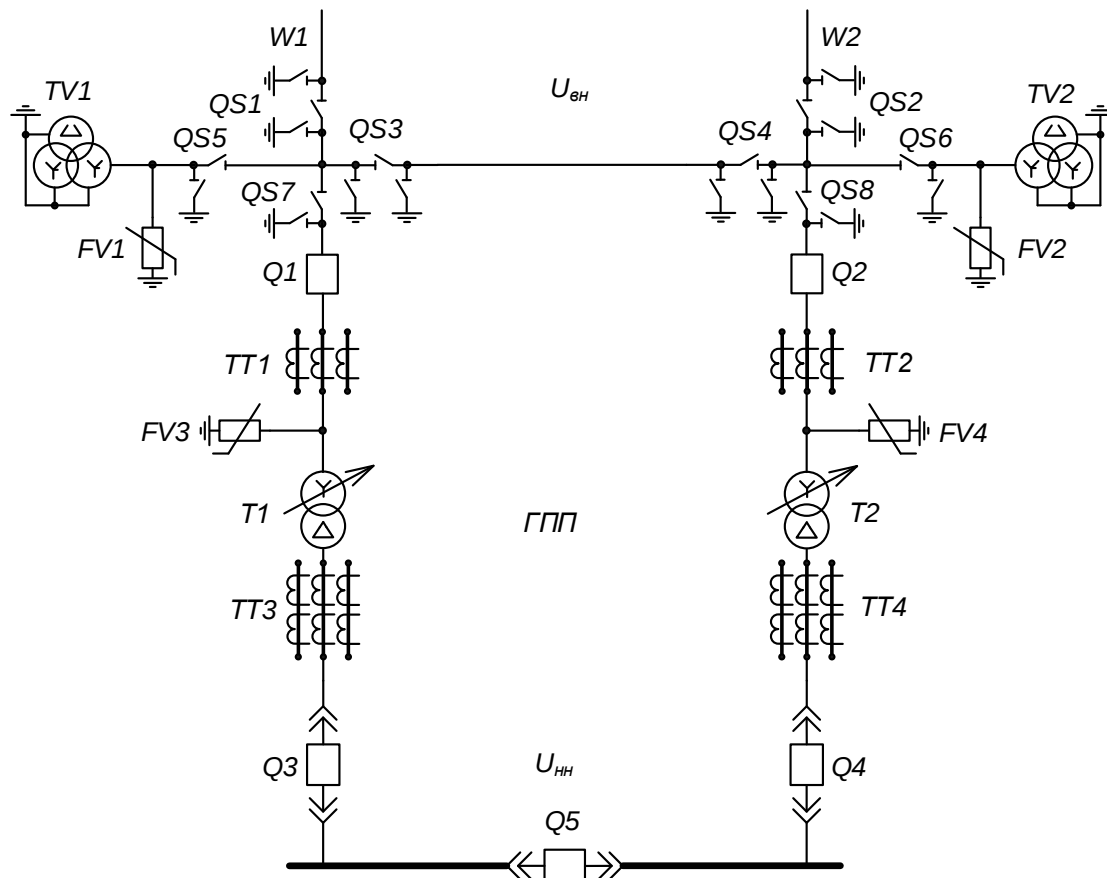


Рисунок 3.1 – Схема внешнего электроснабжения

Принцип работы схемы: при нарушении в трансформаторе $T1$, сработает защита и подаст сигнал на отключение выключателя в цепях трансформатора на низкой $Q4$ и высокой $Q2$ стороне. Секционный выключатель низкой стороны $Q5$ подключит секцию, оставшуюся без напряжения.

Разьединители $QS3$ 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 разьединителей перемычки $QS3$ и $QS4$. При этом 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-6300/35.

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

$$S_{p.ГПП} = 5262,1 \text{ кВА} < 1,4 \cdot S_{ном.т} = 1,4 \cdot 6300 = 8820,0 \text{ кВА},$$

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)

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

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

$$L_{\text{доп}} = L_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{расч}}} = 2,05 \cdot 5 \cdot \frac{390}{43,4} = 92,1 \text{ км} > L_{\text{факт}} = 12,0 \text{ км},$$

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

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

$L_{\Delta U 1\%}$ – длина линии при полной нагрузке, 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 $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{5262,1}{\sqrt{3} \cdot 35} = 86,8 \text{ А} < I_{ном} = 630 \text{ А};$$

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

$$I_{н,т} = 4,5 \text{ кА} < I_{н,т} = 12,5 \text{ кА};$$

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

$$I_{н,0} = 4,5 \text{ кА} < I_{дин} = 12,5 \text{ кА};$$

$$i_{уд} = 10,5 \text{ кА} < i_{дин} = 32 \text{ кА};$$

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

$$B_k = I_{п,0}^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{отк.в} + T_a) = 4,5^2 \cdot (1,2 + 0,065 + 0,0088) = 26,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

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

$$B_k = 26,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Выключатель проходит по результатам проверок.

Намечаем к установке разъединитель РД3-35/1000-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 $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = 86,8 \text{ А} < I_{ном} = 1000 \text{ А};$$

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

$$i_{уд} = 10,5 \text{ кА} < i_{пр.с} = 63 \text{ кА};$$

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

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

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 РДЗ-35/1000-УХЛ1
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
$I_{max} = 86,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{п,t} = 4,5 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 12,5 \text{ кА}$	–
$I_{п,0} = 4,5 \text{ кА}$	$I_{дин} = 12,5 \text{ кА}$	–
$i_{уд} = 10,5 \text{ кА}$	$i_{дин} = 32 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 63 \text{ кА}$
$B_k = 26,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2тер}^2 \cdot t_{тер} = 468,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2тер}^2 \cdot t_{тер} = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

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	100
4	Вторичный номинальный ток трансформатора тока I_2 , А	5
5	Ток электродинамической стойкости $i_{дин}$, кА	21
6	Ток термической стойкости $I_{тер}$, кА	4,7
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 $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = 86,8 \text{ А} < I_{ном} = 200 \text{ А};$$

– 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

$$q_{\text{расч}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 10}{1,11} = 0,25 \text{ мм}^2,$$

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

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{q} = \frac{0,0283 \cdot 10}{4} = 0,071 \text{ Ом}.$$

Тогда вторичная нагрузка трансформатора тока

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} = 0,04 + 0,071 + 0,05 = 0,161 \text{ Ом} < Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}.$$

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

$$i_{\text{уд}} = 10,5 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 42 \text{ кА};$$

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

$$B_{\text{к}} = 26,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{2\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 4,7^2 \cdot 3 = 66,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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	$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} = 86,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}$
	$B_{\text{к}} = 26,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 66,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{\text{уд}} = 10,5 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 21 \text{ кА}$
	$r_2 = 0,161 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом}$

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	$S_{обм},$ В · А	$n_{обм},$ шт	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{приб},$ 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 $U_{ном},$ кВ	35
3	Номинальная мощность $S_{ном},$ В·А	150
4	Класс точности	0,5
5	Климатическое исполнение	У1

Проверка трансформаторов напряжения.

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

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

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

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 3.7

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

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 $U_{уст} \leq U_{ном}$

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

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

$$P_{\text{шк}\Sigma} = n_{\text{шк}} \cdot P_{\text{шк}} = 18 \cdot 1,0 = 18,0 \text{ кВт.}$$

– 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

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{выкл}\Sigma} + P_{\text{шк}\Sigma} + P_{\text{о.ЗРУ}} + P_{\text{о.ОРУ}} = 8,8 + 18,0 + 20,0 + 5,0 = 51,8 \text{ кВт.}$$

Мощность трансформатора собственных нужд

$$S_{\text{тр}} \geq P_{\text{расч}} = k_c \cdot P_{\text{уст}} = 0,8 \cdot 51,8 = 41,4 \text{ кВт,}$$

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.

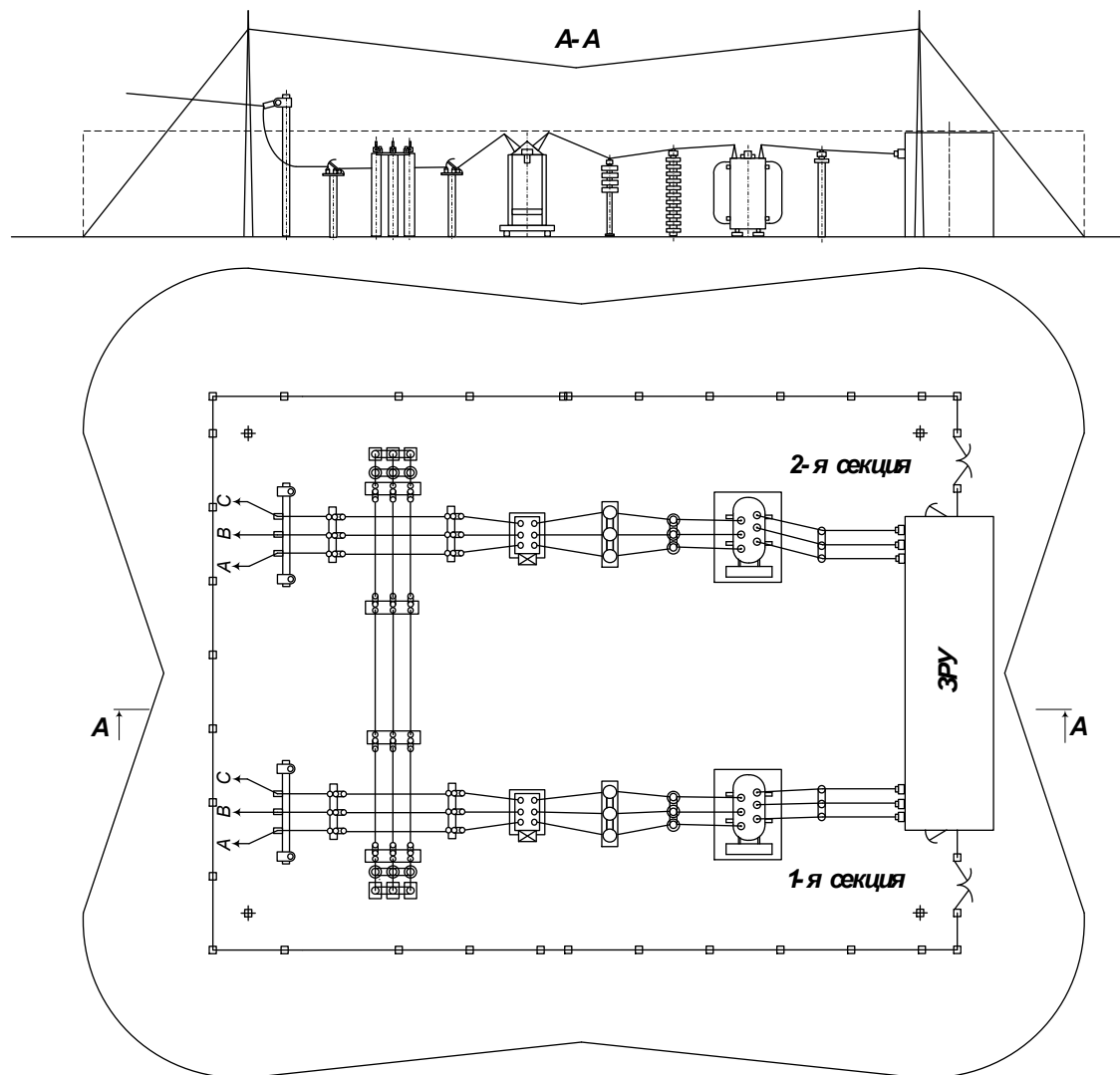


Рисунок 3.2 – План ГПП

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.

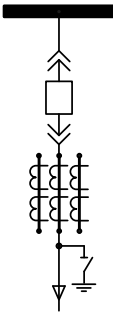
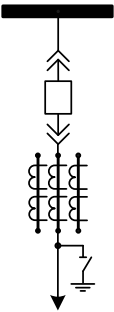
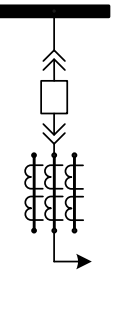
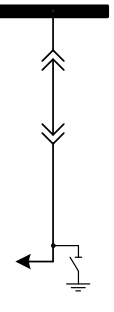
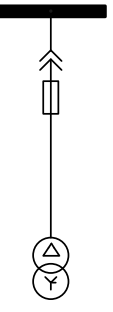
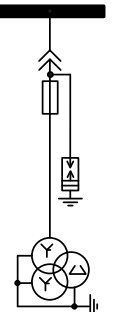
Порядковый номер ячейки в КРУ		2-6, 13-17	7, 12	9	10	1, 18	8, 11
Номинальное напряжение, кВ	10						
Номинальный ток сборных шин, А	1600						
Вид оперативного тока, значение, В	пост., 220						
Схема главных цепей							
Назначение ячейки		Шкаф отходящей кабельной линии	Шкаф ввода	Шкаф секционного выключателя	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		10	2	1	1	2	2

Рисунок 3.3 – Ячейки КРУ

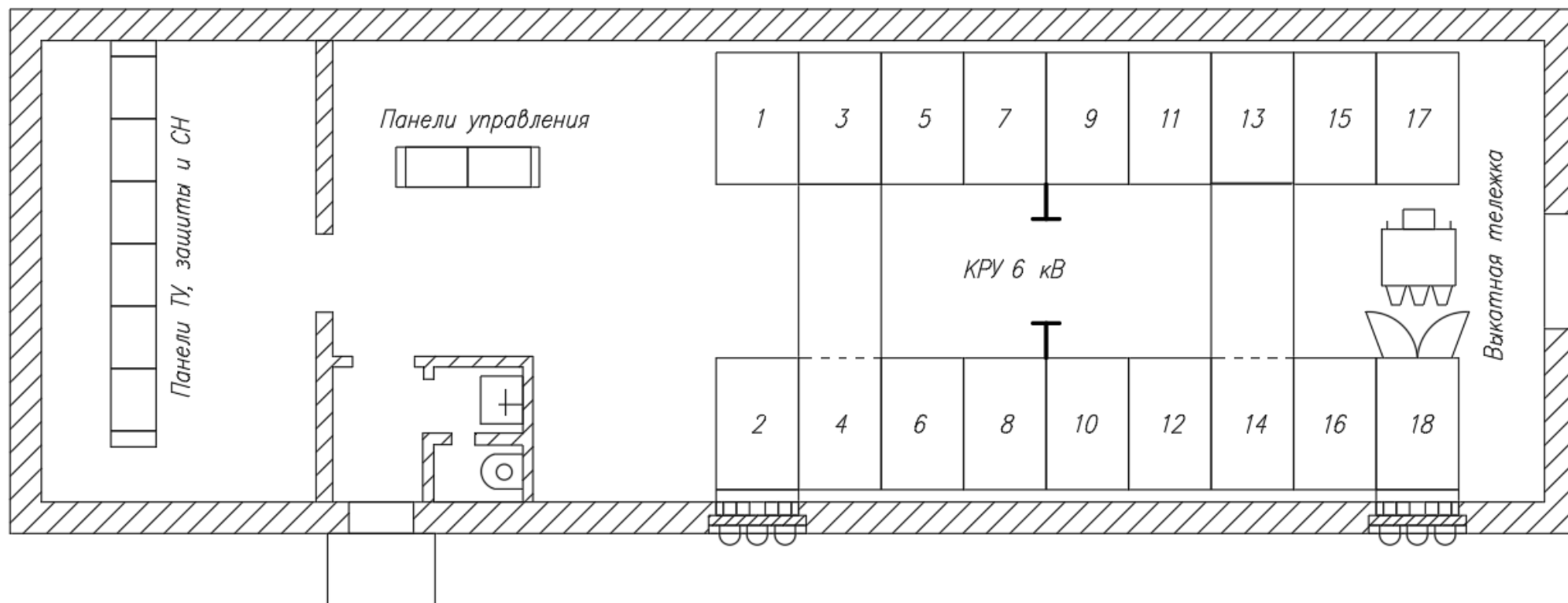


Рисунок 3.4 – План ЗРУ с размещением ячеек КРУ

3.5.2 Выбор оборудования закрытого распределительного устройства

Намечаем к установке вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-П5-10-20/630-У3.

Параметры выключателя приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Параметры выключателя [23, 24]

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

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-У3
$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ
$I_{max} = 303,8$ А	$I_{ном} = 630$ А
$I_{п,t} = 4,6$ кА	$I_{отк.ном} = 20$ кА
$I_{п,0} = 4,6$ кА	$I_{дин} = 20$ кА
$i_{уд} = 12,2$ кА	$i_{дин} = 51$ кА
$B_k = 13,2$ кА ² · с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200$ кА ² · 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
	$I_{max} = 303,8$ А	$I_{ном} = 2000$ А
	$B_k = 13,2$ кА ² · с	$B_k = 14700$ кА ² · с
	$i_{уд} = 12,2$ кА	не проверяется
	$r_2 = 0,411$ 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.	
								Р, 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 $U_{\text{ном}}$, кВ	10
3	Номинальная мощность $S_{\text{ном}}$, В·А	120
4	Класс точности	0,5
5	Климатическое исполнение	УЗ

Проверка трансформаторов напряжения.

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

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

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

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения из таблицы 3.7

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

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 кузнечного 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 2 категории, на вводе в здание устанавливается ВРУ, в состав которого входят вводной шкафы АВР типа АВР-А-630-2-1 на два ввода, оснащенный приборами учета электроэнергии, и шкаф ПР11-7123, к которому подключаются мощные электроприемники и распределительные пункты цеха. Второй ввод АВР находится в резерве под напряжением, по первому вводу запитывается нагрузка цеха. При пропадании питания на первом вводе автоматически питание переключается на второй ввод.

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.

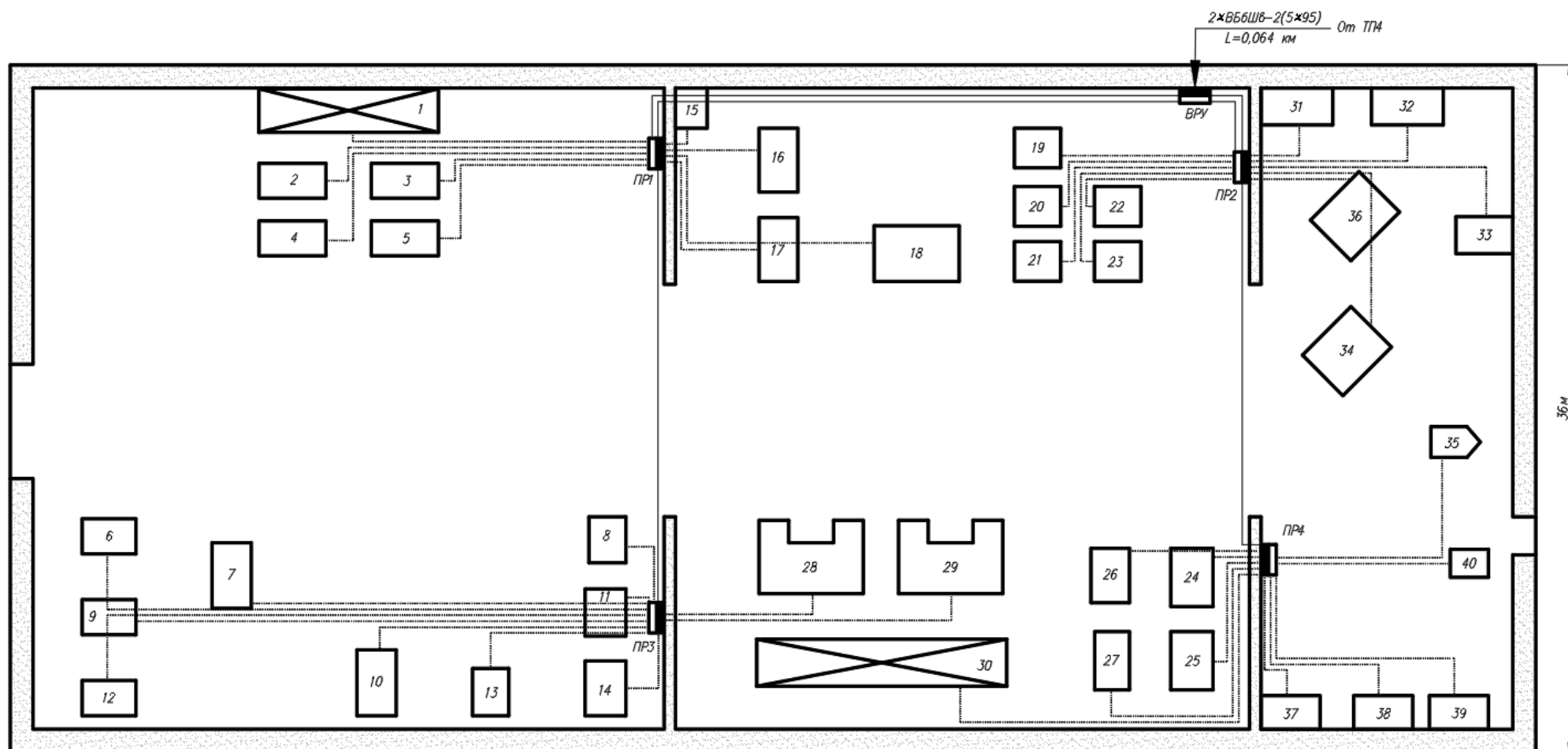


Рисунок 4.1 – План силовой и распределительной сети производственного помещения

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

Кран-балка

$$\begin{aligned}P_{\text{ном}} &= P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 32,0 \cdot \sqrt{0,25} = 16,0 \text{ кВт}, \\I_{\text{ном}} &= \frac{P_{\text{пасп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{32,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,50 \cdot 0,89} = 109,3 \text{ А}, \\I_{\text{ном.ПВ}} &= I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 109,3 \cdot \sqrt{0,25} = 54,6 \text{ А}, \\I_{\text{пуск}} &= K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}} = 5 \cdot 109,3 = 546,3 \text{ А},\end{aligned}$$

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.

Сварочный трансформатор

$$\begin{aligned}P_{\text{пасп}} &= S_{\text{пасп}} \cdot \cos\varphi = 18 \cdot 0,70 = 12,6 \text{ кВт}, \\P_{\text{ном}} &= S_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} \cdot \cos\varphi = 18,00 \cdot \sqrt{0,60} \cdot 0,70 = 9,8 \text{ кВт}, \\I_{\text{ном}} &= \frac{P_{\text{пасп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi} = \frac{12,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,70} = 27,3 \text{ А}, \\I_{\text{ном.ПВ}} &= I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 27,3 \cdot \sqrt{0,60} = 21,2 \text{ А}, \\I_{\text{пуск}} &= K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}} = 3 \cdot 27,3 = 82,0 \text{ А}.\end{aligned}$$

Сушильный шкаф

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi} = \frac{12,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 19,2 \text{ А}.$$

Сверлильный станок (однофазный)

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{4,0}{0,22 \cdot 0,60 \cdot 0,89} = 34,0 \text{ А},$$

$$I_{\text{пуск}} = 5 \cdot 34,0 = 170,2 \text{ А},$$

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	$P_{\text{ном}},$ кВт	$k_{\text{исп}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$	η	$K_{\text{пуск}}$	$I_{\text{ном}},$ А	$I_{\text{пуск}},$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПР1 ПР11-7123									
Кран-балка ПВ = 25%	1	32,0	0,05	0,50	1,73	0,89	5	109,3	546,3
Фрезерный станок	4	8,0	0,20	0,60	1,33	0,89	5	22,8	113,8
Сушильный шкаф	1	12,0	0,80	0,95	0,33	1	–	19,2	–
Закалочная печь	2	22,0	0,80	0,95	0,33	1	–	35,2	–
Пресс	1	60,0	0,25	0,65	1,17	0,89	5	157,6	787,9
ПР2 ПР11-7123									
Токарный станок	6	14,0	0,20	0,60	1,33	0,89	5	39,8	199,2
Вентилятор	1	8,0	0,75	0,80	0,75	0,90	7	16,9	118,2
Электрололот	2	22,0	0,30	0,60	1,33	0,89	5	62,6	313,0
Вентилятор горна	1	20,0	0,75	0,80	0,75	0,90	7	42,2	295,4
ПР3 ПР11-7123									
Шлифовальный станок	1	16,0	0,20	0,60	1,33	0,89	5	45,5	227,6
Трубогибочный станок	5	9,0	0,20	0,60	1,33	0,89	5	25,6	128,0
Сварочный трансформатор ПВ = 60%	3	18,0	0,50	0,70	1,02	0,98	3	27,3	82,0
Электрованна	2	26,0	0,80	0,95	0,33	1	–	41,6	–
ПР4 ПР11-7123									
Сварочный трансформатор ПВ = 60%	1	18,0	0,50	0,70	1,02	0,98	3	27,3	82,0
Токарный станок	1	14,0	0,20	0,60	1,33	0,89	5	39,8	199,2
Шлифовальный станок	1	16,0	0,20	0,60	1,33	0,89	5	45,5	227,6
Сушильный шкаф	1	12,0	0,80	0,95	0,33	1,00	–	19,2	–
Кран-балка ПВ = 25%	1	32,0	0,05	0,50	1,73	0,89	5	109,3	546,3
Обдирочный станок	1	6,0	0,20	0,60	1,33	0,89	5	17,1	85,4
Сверлильный станок (однофазный)	1	4,0	0,20	0,60	1,33	0,89	5	34,0	170,2
Поворотный кран	1	18,0	0,10	0,50	1,73	0,89	5	61,5	307,3
Нагревательная плита	1	15,0	0,80	0,95	0,33	1	–	24,0	–
Вентилятор горна	1	20,0	0,75	0,80	0,75	0,90	7	42,2	295,4

Пример расчета для распределительного пункта ПР1.

Суммарная номинальная мощность электроприемников пункта

$$\sum P_H = \sum (n \cdot P_{\text{ном}}) = 32,0 + 32,0 + 12,0 + 44,0 + 60,0 = 180,0 \text{ кВт.}$$

Расчетные величины (на примере насоса высокого давления)

$$k_u \cdot P_{\Sigma H} = 0,25 \cdot 60,0 = 15,0 \text{ кВт,}$$

$$k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \text{tg}\varphi = 0,25 \cdot 60,0 \cdot 1,17 = 17,5 \text{ кВАр,}$$

$$n \cdot P_H^2 = 2 \cdot 60,0^2 = 3600,0.$$

Итоговые значения по пункту

$$\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H}) = 1,6 + 6,4 + 9,6 + 35,2 + 15,0 = 67,8 \text{ кВт,}$$

$$\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \text{tg}\varphi) = 2,8 + 8,5 + 3,2 + 11,6 + 17,5 = 43,6 \text{ кВАр,}$$

$$\sum (n \cdot P_H^2) = 1024,0 + 256,0 + 144,0 + 968,0 + 3600,0 = 5992,0.$$

Средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \text{tg}\varphi)}{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H})} = \frac{43,6}{67,8} = 0,64.$$

Средневзвешенный коэффициент использования

$$k_{u.\text{ср}} = \frac{\sum (k_u \cdot P_{\Sigma H})}{\sum P_H} = \frac{67,8}{180,0} = 0,38.$$

Эффективное число электроприемников $n_э$

$$n_э = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum (n \cdot P_H^2)} = \frac{180,0^2}{5992,0} = 5,4 \text{ шт,}$$

принимаем $n_э = 5$ шт.

Для рассматриваемого пункта имеем

$$y_1 = 1,35; \quad y_2 = 1,16; \quad x_1 = 0,30; \quad x_2 = 0,40; \quad x = 0,38.$$

Коэффициенты расчетной нагрузки активной и реактивной мощности

$$k_p = 1,35 - \frac{1,35 - 1,16}{0,40 - 0,30} \cdot (0,38 - 0,30) \approx 1,20, \quad k'_p = 1,1.$$

Активная, реактивная и полная расчетные мощности электроприёмников

$$P_p = k_p \cdot \sum (k_u \cdot P_{\Sigma H}) = 1,20 \cdot 67,8 = 81,7 \text{ кВт},$$

$$Q_p = k'_p \cdot \sum (k_u \cdot P_{\Sigma H} \cdot \operatorname{tg} \varphi) = 1,1 \cdot 43,6 = 47,9 \text{ кВАр},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{81,7^2 + 47,9^2} = 94,7 \text{ кВА}.$$

Расчётный ток пункта

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{94,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 143,8 \text{ А}.$$

Номинальный ток самого мощного электроприемника пункта (пресс)

$$I_{\text{ном}}^{\max} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{60,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,89} = 157,6 \text{ А}.$$

Пусковой ток самого мощного электроприемника пункта

$$I_{\text{пуск}}^{\max} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}}^{\max} = 5 \cdot 157,6 = 787,9 \text{ А}.$$

Пиковый ток пункта

$$I_{\text{пик.п}} = I_{\text{пуск}}^{\max} + (I_p - K_{u.\max} \cdot I_{\text{ном}}^{\max}) = 787,9 + (143,8 - 0,25 \cdot 157,6) = 892,4 \text{ А}.$$

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, шт	Коэффициент расчетной активной нагрузки k _p	Коэффициент расчетной реактивной нагрузки k' _p	Расчетная мощность			Расчетный ток I _p , А	Пиковый ток I _{пик} , А
По заданию технологов				Справочные данные			k _и · P _{Σн} , кВт	k _и · P _{Σн} · tgφ, кВАр	n· P ² _н				P _p = k _p · Σ(k _и · P _н), кВт	Q _p = k' _p · Σ(k _и · P _н · tgφ), кВАр	S _p = √(P ² _p + Q ² _p), кВА		
Наименование ЭП	Количество ЭП n, шт	Номинальная мощность, кВт		Коэффициент использования K _и	Коэффициент мощности cosφ	Коэффициент мощности tgφ											
		одного ЭП P _н	общая P _{Σн}														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Пункт распределительный ПР1																	
1 Кран-балка ПВ = 25%	1	32,0	32,0	0,05	0,50	1,73	1,6	2,8	1024,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Фрезерный станок	4	8,0	32,0	0,20	0,60	1,33	6,4	8,5	256,0	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Сушильный шкаф	1	12,0	12,0	0,80	0,95	0,33	9,6	3,2	144,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4 Закалочная печь	2	22,0	44,0	0,80	0,95	0,33	35,2	11,6	968,0	–	–	–	–	–	–	–	–
5 Пресс	1	60,0	60,0	0,25	0,65	1,17	15,0	17,5	3600,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по ПР1	9	–	180,0	0,38	0,84	0,64	67,8	43,6	5992,0	5	1,20	1,1	81,7	47,9	94,7	143,8	892,4

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 Токарный станок	6	14,0	84,0	0,20	0,60	1,33	16,8	22,4	1176,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Вентилятор	1	8,0	8,0	0,75	0,80	0,75	6,0	4,5	64,0	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Электромолот	2	22,0	44,0	0,30	0,60	1,33	13,2	17,6	968,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4 Вентилятор горна	1	20,0	20,0	0,75	0,80	0,75	15,0	11,3	400,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по ПР2	10	–	156,0	0,33	0,67	1,09	51,0	55,8	2608,0	9	1,14	1,1	58,2	61,3	84,5	128,5	422,6
Пункт распределительный ПР3																	
1 Шлифовальный станок	1	16,0	16,0	0,20	0,60	1,33	3,2	4,3	256,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Трубогибочный станок	5	9,0	45,0	0,20	0,60	1,33	9,0	12,0	405,0	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Сварочный трансформатор ПВ = 60%	3	18,0	54,0	0,50	0,70	1,02	27,0	27,5	972,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4 Электрованна	2	26,0	52,0	0,80	0,95	0,33	41,6	13,7	1352,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по ПР3	11	–	167,0	0,48	0,81	0,71	80,8	57,5	2985,0	9	1,07	1,1	86,7	63,2	107,3	163,1	381,6
Пункт распределительный ПР4																	
1 Сварочный трансформатор ПВ = 60%	1	18,0	18,0	0,50	0,70	1,02	9,0	9,2	324,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Токарный станок	1	14,0	14,0	0,20	0,60	1,33	2,8	3,7	196,0	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Шлифовальный станок	1	16,0	16,0	0,20	0,60	1,33	3,2	4,3	256,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4 Сушильный шкаф	1	12,0	12,0	0,80	0,95	0,33	9,6	3,2	144,0	–	–	–	–	–	–	–	–
5 Кран-балка ПВ = 25%	1	32,0	32,0	0,05	0,50	1,73	1,6	2,8	1024,0	–	–	–	–	–	–	–	–
6 Обдирочный станок	1	6,0	6,0	0,20	0,60	1,33	1,2	1,6	36,0	–	–	–	–	–	–	–	–
7 Сверлильный станок (однофазный)	1	12,0	12,0	0,20	0,60	1,33	2,4	3,2	144,0	–	–	–	–	–	–	–	–
8 Поворотный кран	1	18,0	18,0	0,10	0,50	1,73	1,8	3,1	324,0	–	–	–	–	–	–	–	–
9 Нагревательная плита	1	15,0	15,0	0,80	0,95	0,33	12,0	3,9	225,0	–	–	–	–	–	–	–	–
10 Вентилятор горна	1	20,0	20,0	0,75	0,80	0,75	15,0	11,3	400,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого по ПР4	10	–	163,0	0,36	0,79	0,79	58,6	46,2	3073,0	8	1,14	1,1	66,6	50,8	83,8	127,3	670,8

окончание таблицы 4.2

ВРУ																	
1 Пункт распределительный ПР1	9	–	180,0	0,38	0,84	0,64	67,8	43,6	5992,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2 Пункт распределительный ПР2	10	–	156,0	0,33	0,67	1,09	51,0	55,8	2608,0	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Пункт распределительный ПР3	11	–	167,0	0,48	0,81	0,71	80,8	57,5	2985,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4 Пункт распределительный ПР4	10	–	163,0	0,36	0,79	0,79	58,6	46,2	3073,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Итого силовая нагрузка по ВРУ	40	–	666,0	0,39	0,79	0,79	258,2	203,0	14658,0	30	0,75	–	193,7	152,3	246,3	–	–
Электрическое освещение	1	–	14,1	0,95	0,95	0,33	13,4	4,4	–	–	–	–	13,4	4,4	–	–	–
Итоговая нагрузка по ВРУ	41	–	680,1	0,40	0,79	0,76	271,6	207,4	–	–	–	–	207,1	156,7	259,7	394,5	1143,0

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 втягивает 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 $I_{\text{дл}} = I_{\text{ном}} - \text{для одного ЭП};$

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

$I_{\text{ном.ав}}, I_{\text{ном.расц}}$ – 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: $\Delta U_{\text{p\%}} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l$,

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

$$I_{\text{р.пс}} = \frac{S_{\text{р.пс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{878,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1334,4 \text{ А.}$$

Номинальный ток трансформатора подстанции

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

Максимальный рабочий ток трансформатора подстанции

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

Номинальный ток самого мощного электроприемника производственного помещения (пресс)

$$I_{\text{ном}}^{\text{max}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{60,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,89} = 157,6 \text{ А.}$$

Пусковой ток самого мощного электроприемника производственного помещения

$$I_{\text{пуск}}^{\text{max}} = K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}} = 5 \cdot 157,6 = 787,9 \text{ А.}$$

Пиковый ток подстанции

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.ПС}} &= I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{max.раб}} - K_{\text{u.max}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = \\ &= 787,9 + (1340,1 - 0,25 \cdot 157,6) = 2088,6 \text{ А.} \end{aligned}$$

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

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

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

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 1,25 \cdot 2088,6 = 2610,7 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{2610,7}{1600} = 1,6,$$

принимаем $K = 3,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 3,0 \cdot 1600 = 4800,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.ПС}} = 2610,7 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

б) Выбор секционного автоматического выключателя подстанции

Максимальный рабочий ток трансформатора

$$I_{\text{max.раб}} = 1340,1 \text{ А.}$$

Расчетный ток секционного выключателя

$$I_{\text{р.СВ}} = 0,7 \cdot I_{\text{max.раб}} = 0,7 \cdot 1340,1 = 938,0 \text{ А.}$$

Пиковый ток сборных шин

$$I_{\text{пик.СШ}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{р.СН}} - K_{\text{у.мак}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = \\ = 787,9 + (938,0 - 0,25 \cdot 157,6) = 1686,6 \text{ А.}$$

Намечаем к установке автомат марки ВА74-43 с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 1600 \text{ А}$,
 $I_{\text{тепл}} = 1250 \text{ А}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 1250 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{р.СВ}} = 1,1 \cdot 938,0 = 1031,8 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1,25 \cdot 1686,6 = 2108,2 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{2108,2}{1250} = 1,7,$$

принимаем $K = 4,5$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 4,5 \cdot 1250 = 5625,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 2108,2 \text{ А.}$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

в) Участок ТП –ВРУ

Расчетный ток нагрузки ВРУ

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{259,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 394,5 \text{ А.}$$

Пиковый ток ВРУ

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{мак.раб}} - K_{\text{у.мак}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = \\ = 787,9 + (394,5 - 0,25 \cdot 157,6) = 1143,0 \text{ А.}$$

Намечаем к установке автомат марки АБВ Т6N с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 630 \text{ А}$,
 $I_{\text{тепл}} = 630 \text{ А}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 630 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{\text{р}} = 1,1 \cdot 394,5 = 433,9 \text{ А.}$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 1143,0 = 1428,8 \text{ А.}$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1428,8}{630} = 2,3,$$

принимаем $K = 4,5$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 4,5 \cdot 630 = 2835,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1428,8 \text{ А}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки 2×ВББШв-2(5×95) с $I_{\text{доп}} = 518 \text{ А}$ [9, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 518 \text{ А} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{394,5}{1,0 \cdot 0,90} = 438,3 \text{ А}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 518 \text{ А} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1 \cdot 630}{1,0} = 630,0 \text{ А},$$

где I_3 – ток уставки срабатывания защитного аппарата, А;

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

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

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

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{\text{р\%}} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,046 \cdot 394,5 \cdot 0,064 = 1,17\% < 5\%,$$

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

$$I_p = 394,5 \text{ A}, \quad I_{\text{пик}} = 1143,0 \text{ A}.$$

Намечаем к установке автомат марки АВВ Т5N с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 500 \text{ A}$,
 $I_{\text{тепл}} = 500 \text{ A}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 500 \text{ A} > 1,1 \cdot I_{p.\text{CB}} = 1,1 \cdot 394,5 = 433,9 \text{ A}.$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1,25 \cdot 1143,0 = 1428,8 \text{ A}.$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1428,8}{500} = 2,9,$$

принимаем $K = 4,5$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\text{э.о}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 4,5 \cdot 500 = 2250,0 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пик.СШ}} = 1428,8 \text{ A}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

д) Участок ВРУ – ПР1

Расчетный и пиковый ток нагрузки ПР1

$$I_p = 143,8 \text{ A}, \quad I_{\text{пик}} = 892,4 \text{ A}.$$

Намечаем к установке автомат марки ВА74-40 с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 800 \text{ A}$,
 $I_{\text{тепл}} = 260 \text{ A}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 260 \text{ A} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 143,8 = 158,2 \text{ A}.$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 892,4 = 1115,4 \text{ A}.$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1115,4}{260} = 4,3,$$

принимаем $K = 6,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\Sigma.0} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 6,0 \cdot 260 = 1560,0 \text{ A} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1115,4 \text{ A}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки АВВГнг-LS-1(5×185) с $I_{\text{доп}} = 281 \text{ A}$ [9, стр. 66-68, табл. 3.6-3.9].

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 281 \text{ A} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{143,8}{1 \cdot 1} = 143,8 \text{ A}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 281 \text{ A} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}} = \frac{1 \cdot 260}{1} = 260,0 \text{ A}.$$

– проверка по допустимой потере напряжения

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,085 \cdot 143,8 \cdot 0,039 = 0,48\% < 5\%.$$

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

е) Участок ПР1 – Пресс

Номинальный и пусковой ток нагрузки

$$I_{\text{ном}} = 157,6 \text{ A}, \quad I_{\text{пуск}} = 787,9 \text{ A}.$$

Намечаем к установке автомат марки ВА57-35 с параметрами $I_{\text{ном.ав}} = 250 \text{ A}$, $I_{\text{тепл}} = 200 \text{ A}$.

– проверка намеченного автомата по нагреву расчетным током

$$I_{\text{тепл}} = 200 \text{ A} > 1,1 \cdot I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 157,6 = 173,3 \text{ A}.$$

– проверка намеченного автомата по условию перегрузки пиковым током

$$1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 787,9 = 1181,9 \text{ A}.$$

Коэффициент кратности тока срабатывания уставки

$$K = \frac{1,5 \cdot I_{\text{пуск}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{1181,9}{200} = 5,9,$$

принимаем $K = 6,0$.

Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ

$$I_{\Sigma.0} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 6 \cdot 200 = 1200,0 \text{ A} > 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1181,9 \text{ A}.$$

Принятый автомат проходит по результатам проверок.

Намечаем выбор кабеля марки АВВГнг-LS-1(5×120) с $I_{\text{доп}} = 213 \text{ А}$.

– проверка намеченного кабеля по нагреву расчетным током

$$I_{\text{доп}} = 213 \text{ А} > \frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}} = \frac{157,6}{1 \cdot 0,85} = 185,4 \text{ А}.$$

– согласование с действием аппарата защиты

$$I_{\text{доп}} = 213 \text{ А} > \frac{K_z \cdot I_z}{K_{\text{п1}}} = \frac{1 \cdot 200}{1} = 200,0 \text{ А}.$$

Принятый кабель проходит по результатам проверок.

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

Таблица 4.3 – Выбор аппаратов защиты и проводников питающей сети

Участок	$\frac{I_p}{I_{\text{пик}}},$ А	$1,1 \cdot I_p,$ А	$1,25 \cdot I_{\text{пик}},$ А	Аппарат защиты			Способ прокладки	$K_{\text{п1}}$	$K_{\text{п2}}$	$\frac{I_p}{K_{\text{п1}} \cdot K_{\text{п2}}},$ А	K_3	$\frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{п1}}},$ А	Кабель		L, м	$\cos\varphi$	$\Delta U_0,$ %	$\Delta U_p,$ %
				Тип	К	$\frac{I_{\text{тепл}}}{I_{\text{э.о.}}},$ А							Марка	$I_{\text{доп}},$ А				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Вводной выключатель ТП	$\frac{1340,1}{2088,6}$	1474,1	2610,7	BA53-43	3,0	$\frac{1600}{4800}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Секционный выключатель ТП	$\frac{1340,1}{1686,6}$	1031,8	2108,2	BA74-43	4,5	$\frac{1250}{5625}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ТП - ВРУ	$\frac{394,5}{1143,0}$	433,9	1428,8	ABB T6N	4,5	$\frac{630}{2835}$	траншея	1	0,90	438,3	1	630,0	2×ВБ6Шв - 2(5 × 95)	518	0,064	0,79	0,046	1,17
Вводной выключатель ВРУ	$\frac{394,5}{1143,0}$	433,9	1428,8	ABB T5N	4,5	$\frac{500}{2250}$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ВРУ – ПР1	$\frac{143,8}{892,4}$	158,2	1115,4	BA74-40	6,0	$\frac{260}{1560}$	лотки, короб	1	1	143,8	1	260,0	ABBGнг-LS - 1(5 × 185)	281	0,039	0,84	0,085	0,48
ВРУ – ПР2	$\frac{128,5}{422,6}$	141,3	528,3	BA74-40	5,0	$\frac{190}{950}$	лотки, короб	1	1	128,5	1	190,0	ABBGнг-LS - 1(5 × 120)	213	0,012	0,67	0,109	0,16
ВРУ – ПР3	$\frac{163,1}{381,6}$	179,4	477,0	BA74-40	5,0	$\frac{190}{950}$	лотки, короб	1	1	163,1	1	190,0	ABBGнг-LS - 1(5 × 120)	213	0,064	0,81	0,117	1,21
ВРУ – ПР4	$\frac{127,3}{670,8}$	140,0	838,6	BA74-40	7,0	$\frac{190}{1330}$	лотки, короб	1	1	127,3	1	190,0	ABBGнг-LS - 1(5 × 120)	213	0,035	0,79	0,117	0,52

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															
Кран-балка ПВ = 25%	109,3	546,3	120,2	819,4	ВА57-35	8,0	125,0	1000,0	1,00	0,85	128,5	1,0	125,0	АВВГнг-LS-1(5 × 70)	150
Фрезерный станок	22,8	113,8	25,0	170,7	ВА47-29	7,5	25,0	187,5	1,00	0,85	26,8	1,0	25,0	АВВГнг-LS-1(5 × 4)	27
Сушильный шкаф	19,2	–	21,1	–	ВА47-29	7,5	50,0	375,0	1,00	0,85	22,6	1,0	50,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Закалочная печь	35,2	–	38,7	–	ВА47-29	7,5	40,0	300,0	1,00	0,85	41,4	1,0	40,0	АВВГнг-LS-1(5 × 10)	47
Пресс	157,6	787,9	173,3	1181,9	ВА57-35	6,0	200,0	1200,0	1,00	0,85	185,4	1,0	200,0	АВВГнг-LS-1(5 × 120)	213
Пункт распределительный ПР2															
Токарный станок	39,8	199,2	43,8	298,7	ВА47-29	7,5	50,0	375,0	1,00	0,85	46,9	1,0	50,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62
Вентилятор	16,9	118,2	18,6	177,3	ВА47-29	7,5	20,0	150,0	1,00	0,85	19,9	1,0	20,0	АВВГнг-LS-1(5 × 4)	27
Электролопат	62,6	313,0	68,9	469,5	ВА47-29	7,5	80,0	600,0	1,00	0,85	73,6	1,0	80,0	АВВГнг-LS-1(5 × 25)	81
Вентилятор горна	42,2	295,4	46,4	443,1	ВА47-29	7,5	63,0	472,5	1,00	0,85	49,7	1,0	63,0	АВВГнг-LS-1(5 × 25)	81
Пункт распределительный ПР3															
Шлифовальный станок	45,5	227,6	50,1	341,4	ВА47-29	7,5	63,0	472,5	1,00	0,75	60,7	1,0	63,0	АВВГнг-LS-1(5 × 25)	81
Трубогибочный станок	25,6	128,0	28,2	192,1	ВА47-29	7,5	32,0	240,0	1,00	0,75	34,1	1,0	32,0	АВВГнг-LS-1(5 × 10)	47
Сварочный трансформатор ПВ = 60%	27,3	82,0	30,1	123,1	ВА47-29	7,5	32,0	240,0	1,00	0,75	36,5	1,0	32,0	АВВГнг-LS-1(5 × 10)	47
Электрованна	41,6	–	45,7	–	ВА47-29	7,5	50,0	375,0	1,00	0,75	55,4	1,0	50,0	АВВГнг-LS-1(5 × 16)	62

окончание таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Пункт распределительный ПР4															
Сварочный трансформатор ПВ = 60%	27,3	82,0	30,1	123,1	BA47-29	7,5	40,0	300,0	1,00	0,85	32,2	1,0	40,0	ABBГнг-LS-1(5 × 10)	47
Токарный станок	39,8	199,2	43,8	298,7	BA47-29	7,5	50,0	375,0	1,00	0,85	46,9	1,0	50,0	ABBГнг-LS-1(5 × 16)	62
Шлифовальный станок	45,5	227,6	50,1	341,4	BA47-29	7,5	63,0	472,5	1,00	0,85	53,6	1,0	63,0	ABBГнг-LS-1(5 × 25)	81
Сушильный шкаф	19,2	–	21,1	–	BA47-29	7,5	25,0	187,5	1,00	0,85	22,6	1,0	25,0	ABBГнг-LS-1(5 × 4)	27
Кран-балка ПВ = 25%	109,3	546,3	120,2	819,4	BA57-35	8,0	125,0	1000,0	1,00	0,85	128,5	1,0	125,0	ABBГнг-LS-1(5 × 70)	150
Обдирочный станок	17,1	85,4	18,8	128,0	BA47-29	7,5	20,0	150,0	1,00	0,85	20,1	1,0	20,0	ABBГнг-LS-1(5 × 4)	27
Сверлильный станок (однофазный)	34,0	170,2	37,5	255,4	BA47-29	7,5	40,0	300,0	1,00	0,85	40,1	1,0	40,0	ABBГнг-LS-1(5 × 10)	47
Поворотный кран	61,5	307,3	67,6	460,9	BA47-29	7,5	80,0	600,0	1,00	0,85	72,3	1,0	80,0	ABBГнг-LS-1(5 × 25)	81
Нагревательная плита	24,0	–	26,4	–	BA47-29	7,5	32,0	240,0	1,00	0,85	28,2	1,0	32,0	ABBГнг-LS-1(5 × 6)	34
Вентилятор горна	42,2	295,4	46,4	443,1	BA47-29	7,5	63,0	472,5	1,00	0,85	49,7	1,0	63,0	ABBГнг-LS-1(5 × 25)	81

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, разбора 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 – ТП4 – ВРУ – ПР4 – ЭП №30, рисунок 4.2.

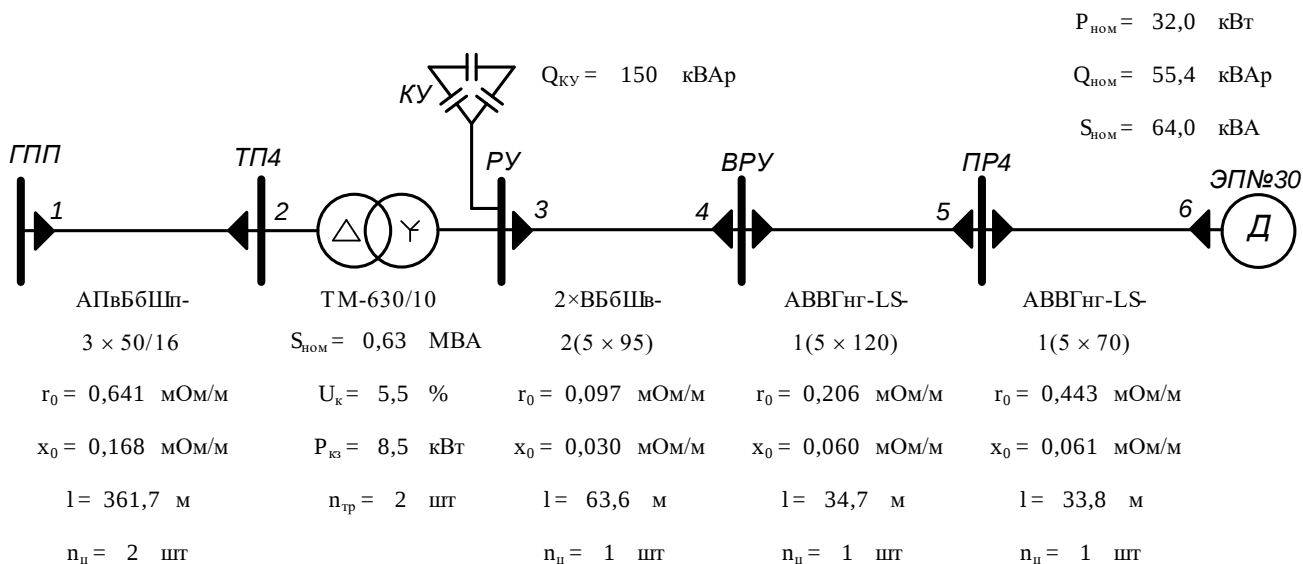


Рисунок 4.2 – Расчетная схема

Расчет максимального режима нагрузки

Участок 1-2

Активное и реактивное сопротивление участка 1-2

$$R_{12} = \frac{r_{12} \cdot l_{12}}{n_{ц}} = \frac{0,641 \cdot 361,7}{2} \cdot 10^{-3} = 0,1159 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = \frac{x_{12} \cdot l_{12}}{n_{ц}} = \frac{0,168 \cdot 361,7}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0304 \text{ Ом}.$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 1-2

$$P_{12} = \sum P_{ц.ТП} = 752,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{12} = \sum Q_{ц.ТП} - Q_{КУ} = 602,4 - 150,0 = 452,4 \text{ кВАр}.$$

Потеря напряжения на участке 1-2

$$\Delta U_{12,\%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{752,8 \cdot 0,1159 + 452,4 \cdot 0,0304}{10 \cdot 10,5^2} = 0,092\%.$$

Потеря напряжения на участке 1-2 в именованных единицах

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12,\%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,092 \cdot \frac{10500}{100} = 9,6 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 1-2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 9,6 = 10490,4 \text{ В.}$$

Участок 2-3

Активная и реактивная составляющая значения напряжения короткого замыкания трансформатора

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{ном.тр}} = \frac{8,5 \cdot 100\%}{630} = 1,349,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 + U_a^2} = \sqrt{5,5^2 + 1,349^2} = 5,332.$$

Коэффициент загрузки трансформатора

$$\beta_T = \frac{S_{12}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{878,3}{2 \cdot 630} = 0,697.$$

Коэффициент мощности на участке 2-3

$$\cos \varphi = \frac{P_{23}}{S_{23}} = \frac{752,8}{878,3} = 0,86, \quad \sin \varphi = \frac{Q_{23}}{S_{23}} = \frac{452,4}{878,3} = 0,52.$$

Потеря напряжения на участке 2-3

$$\begin{aligned} \Delta U_{23,\%} &= \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi) = \\ &= 0,697 \cdot (1,349 \cdot 0,86 + 5,332 \cdot 0,52) + \frac{0,697^2}{200} \cdot (1,349 \cdot 0,52 - 5,332 \cdot 0,86) = \\ &= 2,711\%. \end{aligned}$$

Потеря напряжения на участке 2-3 в именованных единицах

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 2,711 \cdot \frac{10490,4}{100} = 284,4 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 2-3

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 10490,4 - 284,4 = 10206,0 \text{ В.}$$

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

$$U_3^{\text{нн}} = U_3 = 400 \cdot \frac{10206,0}{10500} = 388,8 \text{ В.}$$

Участок 3-4

Активное и реактивное сопротивление участка 3-4

$$R_{34} = \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,097 \cdot 63,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0062 \text{ Ом,}$$

$$X_{34} = \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,030 \cdot 63,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0019 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 3-4

$$P_{34} = P_{\text{ВРУ}} = 207,1 \text{ кВт,} \quad Q_{34} = Q_{\text{ВРУ}} = 156,7 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 3-4

$$\Delta U_{34,\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{207,1 \cdot 0,0062 + 156,7 \cdot 0,0019}{10 \cdot 0,389^2} = 1,044\%.$$

Потеря напряжения на участке 3-4 в именованных единицах

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34,\%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 1,044 \cdot \frac{388,8}{100} = 4,1 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 3-4

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 388,8 - 4,1 = 384,7 \text{ В.}$$

Участок 4-5

Активное и реактивное сопротивление участка 4-5

$$R_{45} = \frac{r_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,206 \cdot 34,7}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0071 \text{ Ом,}$$

$$X_{45} = \frac{x_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 34,7}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0021 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 4-5

$$P_{45} = P_{\text{ПР}} = 66,6 \text{ кВт,} \quad Q_{45} = Q_{\text{ПР}} = 50,8 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 4-5

$$\Delta U_{45,\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{66,6 \cdot 0,0071 + 50,8 \cdot 0,0021}{10 \cdot 0,385^2} = 0,392\%.$$

Потеря напряжения на участке 4-5 в именованных единицах

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45,\%} \cdot \frac{U_4}{100\%} = 0,392 \cdot \frac{384,7}{100} = 1,5 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 4-5

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 384,7 - 1,5 = 383,2 \text{ В.}$$

Участок 5-6

Активное и реактивное сопротивление участка 5-6

$$R_{56} = \frac{r_{56} \cdot l_{56}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,443 \cdot 33,8}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0150 \text{ Ом,}$$

$$X_{56} = \frac{x_{56} \cdot l_{56}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,061 \cdot 33,8}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0021 \text{ Ом.}$$

Активная и реактивная мощности, протекающие по участку 5-6

$$P_{56} = P_{\text{ном}} = 32,0 \text{ кВт,} \quad Q_{56} = Q_{\text{ном}} = 55,4 \text{ кВАр.}$$

Потеря напряжения на участке 5-6

$$\Delta U_{56,\%} = \frac{P_{56} \cdot R_{56} + Q_{56} \cdot X_{56}}{10 \cdot U_5^2} = \frac{32,0 \cdot 0,01500 + 55,4 \cdot 0,0021}{10 \cdot 0,383^2} = 0,405\%.$$

Потеря напряжения на участке 5-6 в именованных единицах

$$\Delta U_{56} = \Delta U_{56,\%} \cdot \frac{U_5}{100\%} = 0,405 \cdot \frac{383,2}{100} = 1,6 \text{ В.}$$

Фактическое значение напряжения в конце участка 5-6

$$U_6 = U_5 - \Delta U_{56} = 383,2 - 1,6 = 381,7 \text{ В.}$$

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 сведём 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	752,8	752,8	207,1	66,6	32,0
Q_i , кВАр	452,4	452,4	156,7	50,8	55,4
S_i , кВА	878,3	878,3	259,7	83,8	64,0
R_i , Ом	0,116	—	0,0062	0,0071	0,0150
X_i , Ом	0,030	—	0,0019	0,0021	0,0021
$\cos\varphi$	—	0,857	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,515	—	—	—
β_T	—	0,697	—	—	—
U_a , %	—	1,349	—	—	—
U_p , %	—	5,332	—	—	—
ΔU_i , %	0,092	2,711	1,044	0,392	0,405
ΔU_i , В	9,6	284,4	4,1	1,5	1,6
U_i , В	10490,4	388,8	384,7	383,2	381,7
Максимальный режим нагрузки без учёта компенсации реактивной мощности					
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
P_i , кВт	752,8	752,8	207,1	66,6	32,0
Q_i , кВАр	602,4	602,4	156,7	50,8	55,4
S_i , кВА	964,1	964,1	259,7	83,8	64,0
R_i , Ом	0,116	—	0,0062	0,0071	0,0150
X_i , Ом	0,030	—	0,0019	0,0021	0,0021
$\cos\varphi$	—	0,781	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,625	—	—	—
β_T	—	0,765	—	—	—
U_a , %	—	1,349	—	—	—
U_p , %	—	5,332	—	—	—
ΔU_i , %	0,096	3,345	1,057	0,398	0,410
ΔU_i , В	10,1	350,9	4,1	1,5	1,6
U_i , В	10489,9	386,2	382,2	380,6	379,1
Минимальный режим нагрузки с учётом компенсации реактивной мощности					
Участок	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6
P_i , кВт	361,4	361,4	99,4	32,0	32,0
Q_i , кВАр	289,5	289,5	100,3	32,5	55,4
S_i , кВА	463,0	463,0	141,2	45,6	64,0
R_i , Ом	0,116	—	0,0062	0,0071	0,0150
X_i , Ом	0,030	—	0,0019	0,0021	0,0021
$\cos\varphi$	—	0,780	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,625	—	—	—
β_T	—	0,367	—	—	—
U_a , %	—	1,349	—	—	—
U_p , %	—	5,332	—	—	—
ΔU_i , %	0,051	1,610	0,520	0,193	0,390
ΔU_i , В	5,1	160,9	2,0	0,8	1,5
U_i , В	9994,9	393,4	391,3	390,6	389,0

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	752,8	752,8	207,1	66,6	32,0
Q_i , кВАр	452,4	452,4	156,7	50,8	55,4
S_i , кВА	878,3	878,3	259,7	83,8	64,0
R_i , Ом	0,232	—	0,0062	0,0071	0,0150
X_i , Ом	0,061	—	0,0019	0,0021	0,0021
$\cos\varphi$	—	0,857	—	—	—
$\sin\varphi$	—	0,515	—	—	—
β_T	—	1,394	—	—	—
U_a , %	—	1,349	—	—	—
U_p , %	—	5,332	—	—	—
ΔU_i , %	0,183	5,403	1,106	0,416	0,430
ΔU_i , В	19,2	566,3	4,2	1,6	1,6
U_i , В	10480,8	377,7	373,5	372,0	370,4

Эпюры отклонения напряжений представлена на рисунке 4.3.

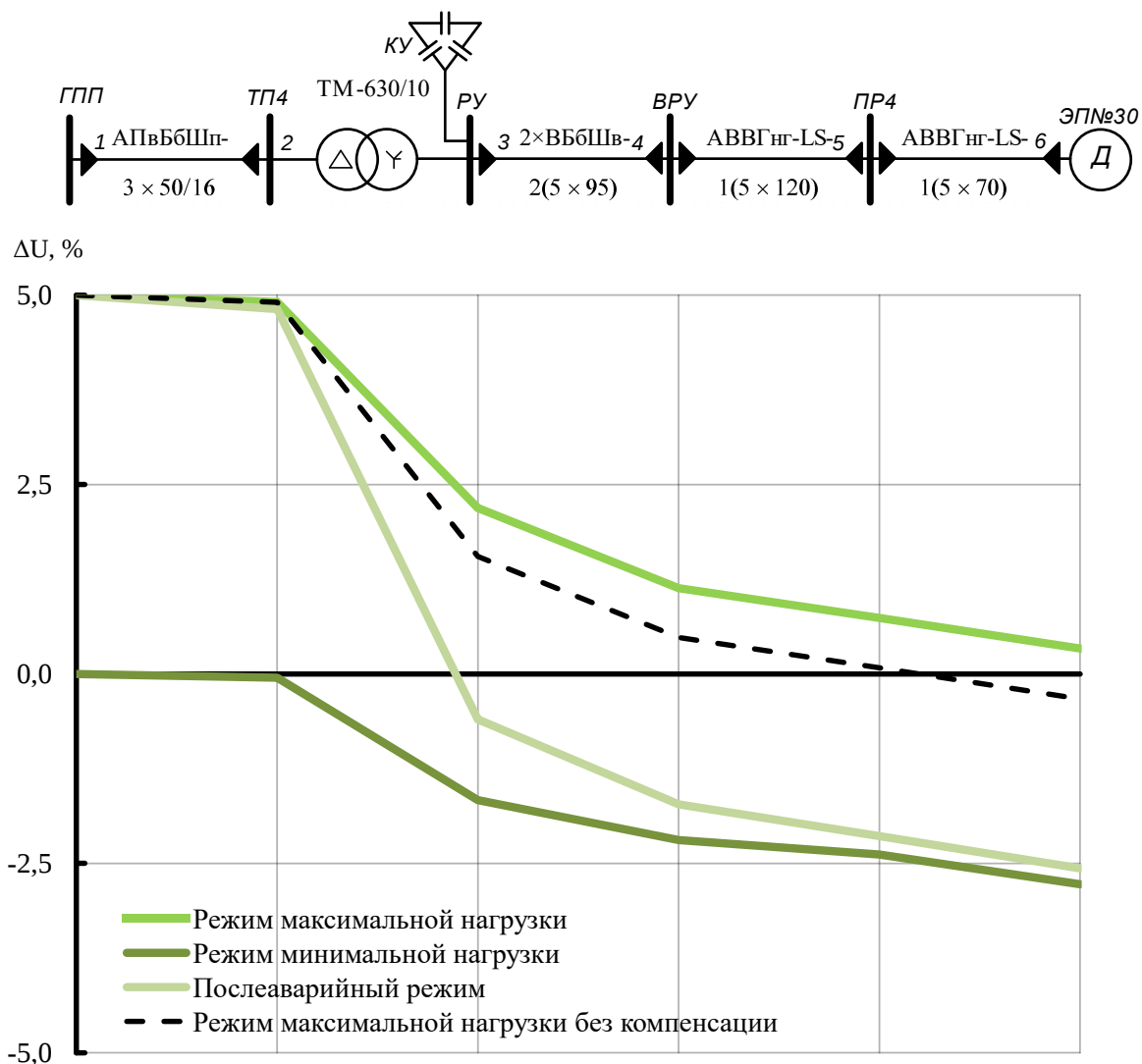


Рисунок 4.3 – Эпюры отклонения напряжений

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 ТП4 – ВРУ – ПР4 – ЭП №30.

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

Сопротивления элементов.

Трансформаторы

$$R_{\text{тр}} = \frac{U_a}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{1,349}{100} \cdot \frac{400^2}{630} = 3,4 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{5,332}{100} \cdot \frac{400^2}{630} = 13,5 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{тр}} = \sqrt{R_{\text{тр}}^2 + X_{\text{тр}}^2} = \sqrt{3,4^2 + 13,5^2} = 14,0 \text{ мОм}.$$

TM-630/10	
$S_{ном} = 0,63 \text{ MBA}$	
$U_a = 1,3 \%$	$U_p = 5,3 \%$
BA53-43	1600 / 4800,0
ТШМС-0,66	2000 / 5
ABB T6N	630 / 2835,0
TK-40	800 / 5
2×ББ6ШВ- 2(5 × 95)	
$l = 63,6 \text{ м}$	$n_{ш} = 1 \text{ шт}$
$r_0 = 0,097 \text{ МОм/м}$	$x_0 = 0,030 \text{ МОм/м}$
ABB T5N	500 / 2250,0
TK-40	500 / 5
BA74-40	190 / 1330,0
TK-40	200 / 5
АВВГнг-LS- 1(5 × 120)	
$l = 34,7 \text{ м}$	$n_{ш} = 1 \text{ шт}$
$r_0 = 0,206 \text{ МОм/м}$	$x_0 = 0,060 \text{ МОм/м}$
BA57-35	125 / 1000,0
АВВГнг-LS- 1(5 × 70)	
$l = 33,8 \text{ м}$	$n_{ш} = 1 \text{ шт}$
$r_0 = 0,443 \text{ МОм/м}$	$x_0 = 0,061 \text{ МОм/м}$
ЭП №30	

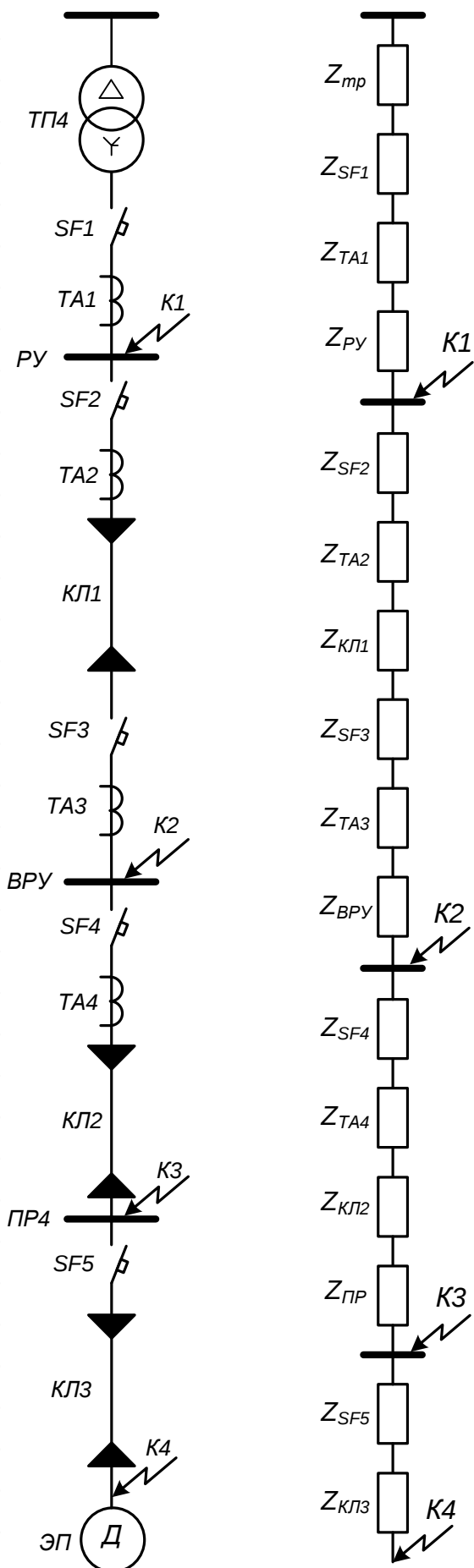


Рисунок 4.4 – Расчетная схема и схема замещения

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]

$$Z_{PY} = R_{PY} + R_{H.K} = 0,015 + 0,027 = 0,042 \text{ мОм},$$

$$Z_{BPY} = R_{BPY} + R_{H.K} = 0,020 + 0,024 = 0,044 \text{ мОм},$$

$$Z_{IP} = R_{IP} + R_{H.K} = 0,030 + 0,029 = 0,059 \text{ мОм}.$$

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

$$Z_{SF1} = \sqrt{(R_{расц1} + R_{K1})^2 + X_{расц1}^2} = \sqrt{(0,08 + 0,10)^2 + 0,08^2} = 0,20 \text{ мОм},$$

$$Z_{SF2} = \sqrt{(R_{расц2} + R_{K2})^2 + X_{расц2}^2} = \sqrt{(0,12 + 0,25)^2 + 0,13^2} = 0,39 \text{ мОм},$$

$$Z_{SF3} = \sqrt{(R_{расц3} + R_{K3})^2 + X_{расц3}^2} = \sqrt{(0,15 + 0,40)^2 + 0,17^2} = 0,58 \text{ мОм},$$

$$Z_{SF4} = \sqrt{(R_{расц4} + R_{K4})^2 + X_{расц4}^2} = \sqrt{(0,40 + 0,60)^2 + 0,50^2} = 1,12 \text{ мОм},$$

$$Z_{SF5} = \sqrt{(R_{расц5} + R_{K5})^2 + X_{расц5}^2} = \sqrt{(0,70 + 0,70)^2 + 0,70^2} = 1,57 \text{ мОм}.$$

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]

$$Z_{TA2} = \sqrt{R_{TA2}^2 + X_{TA2}^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,07^2} = 0,09 \text{ мОм},$$

$$Z_{TA3} = \sqrt{R_{TA3}^2 + X_{TA3}^2} = \sqrt{0,11^2 + 0,17^2} = 0,20 \text{ мОм},$$

$$Z_{TA4} = \sqrt{R_{TA4}^2 + X_{TA4}^2} = \sqrt{0,42^2 + 0,67^2} = 0,79 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

$$R_{\text{КЛ1}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,097 \cdot 63,6}{1} = 6,2 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ1}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,030 \cdot 63,6}{1} = 1,9 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ1}} = \sqrt{R_{\text{КЛ1}}^2 + X_{\text{КЛ1}}^2} = \sqrt{6,2^2 + 1,9^2} = 6,5 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

$$R_{\text{КЛ2}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,206 \cdot 34,7}{1} = 7,1 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ2}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 34,7}{1} = 2,1 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ2}} = \sqrt{R_{\text{КЛ2}}^2 + X_{\text{КЛ2}}^2} = \sqrt{7,1^2 + 2,1^2} = 7,4 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ3

$$R_{\text{КЛ3}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,443 \cdot 33,8}{1} = 15,0 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{КЛ3}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,061 \cdot 33,8}{1} = 2,1 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{КЛ3}} = \sqrt{R_{\text{КЛ3}}^2 + X_{\text{КЛ3}}^2} = \sqrt{15,0^2 + 2,1^2} = 15,1 \text{ мОм}.$$

Пример расчёта тока короткого замыкания для точки К1.

Полное сопротивление до точки К1

$$Z_{\text{К1}} = Z_{\text{тр}} + Z_{\text{SF1}} + Z_{\text{ТА2}} + Z_{\text{РУ}} = 14,0 + 0,20 + 0 + 0,042 = 14,2 \text{ мОм}.$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{\text{К1}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 14,2} = 16,3 \text{ кА}.$$

Постоянная времени

$$T_{\text{а1}} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{13,6}{314 \cdot 3,6} = 0,0119 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{\text{а1}}} = 1 + e^{-0,01/0,0119} = 1,431.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К1

$$i_{уд,К1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд1} \cdot I_{К1} = \sqrt{2} \cdot 1,431 \cdot 16,3 = 32,9 \text{ кА.}$$

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	14,2	1,431	0,0119	16,3	32,9
К2	22,0	1,118	0,0047	10,5	16,6
К3	31,4	1,041	0,0031	7,4	10,8
К4	48,1	1,006	0,0020	4,8	6,8

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	ТП4	ВРУ	ПР4	ЭП №30
Расчетный ток I_p , А	1340,1	394,5	127,3	–
Пиковый ток $I_{пик}$, А	2088,6	1143,0	670,8	–
Номинальный ток $I_{ном}$, А	–	–	–	109,3
Пусковой ток $I_{пуск}$, А	–	–	–	546,3
Ток КЗ I_k , А	16255,1	10511,6	7360,3	4803,8
Тип аппарата	ВА53-43	ABB T6N	ВА74-40	ВА57-35
Условия срабатывания по току				
– при перегрузке $I_{ном.расц}$, А	1600	630	190	125,0
– при КЗ $I_{кз}$, А	4800,0	2835,0	1330,0	1000,0
Условия срабатывания по времени, с	0,77	0,52	0,27	0,02

Карта селективности представлена на рисунке 4.5.

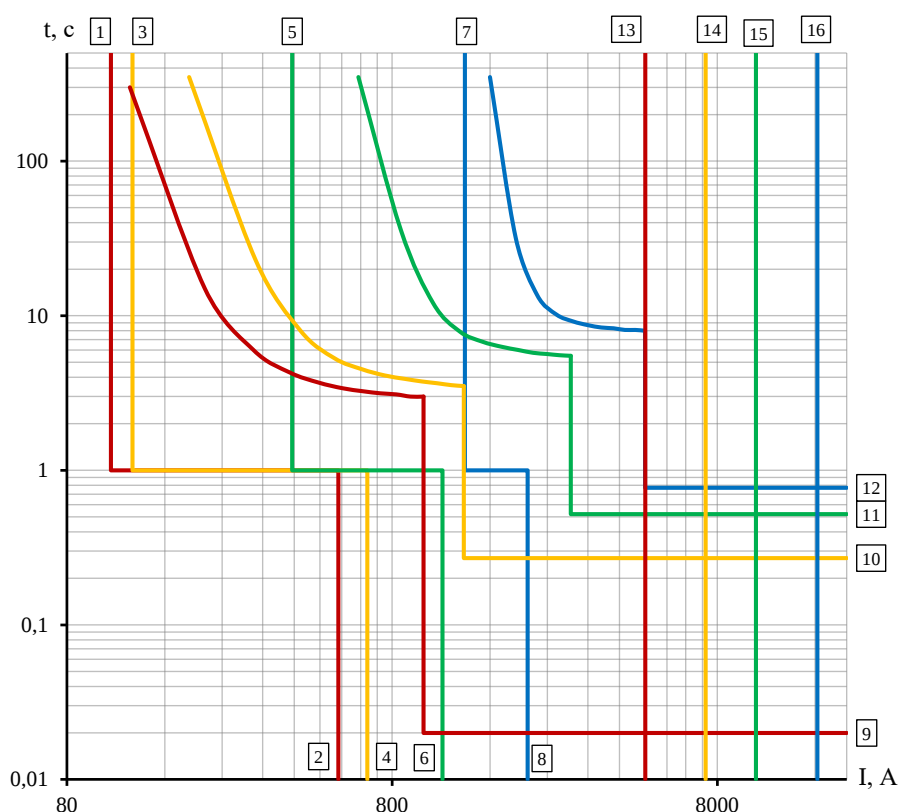


Рисунок 4.5 – Карта селективности действия аппаратов защиты

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]

$$\frac{Z_{\text{тр}}}{3} = \frac{42,0}{3} = 14,0 \text{ мОм.}$$

Автоматические выключатели

$R_{\text{SF1}} = 0,18 \text{ мОм,}$	$X_{\text{SF1}} = 0,08 \text{ мОм,}$
$R_{\text{SF2}} = 0,37 \text{ мОм,}$	$X_{\text{SF2}} = 0,13 \text{ мОм,}$
$R_{\text{SF3}} = 0,55 \text{ мОм,}$	$X_{\text{SF3}} = 0,17 \text{ мОм,}$
$R_{\text{SF4}} = 1,00 \text{ мОм,}$	$X_{\text{SF4}} = 0,50 \text{ мОм,}$
$R_{\text{SF}} = 1,40 \text{ мОм,}$	$X_{\text{SF5}} = 0,70 \text{ мОм.}$

ТМ-630/10	
$z_{TP} = 42,0 \text{ МОМ}$	
BA53-43 1600 / 4800,0	
ТШМС-0,66 2000 / 5	
ABB T6N 630 / 2835,0	
TK-40 800 / 5	
2×ББ6ШВ- 2(5 × 95)	
$l = 63,6 \text{ м}$ $n_{ш} = 1 \text{ шт}$	
$r_{\phi} = 0,097 \text{ МОМ/м}$ $r_H = 0,229 \text{ МОМ/м}$ $x' = 0,600 \text{ МОМ/м}$	
ABB T5N 500 / 2250,0	
TK-40 500 / 5	
BA74-40 190 / 1330,0	
TK-40 200 / 5	
ABBГНГ-LS- 1(5 × 120)	
$l = 34,7 \text{ м}$ $n_{ш} = 1 \text{ шт}$	
$r_{\phi} = 0,206 \text{ МОМ/м}$ $r_H = 0,620 \text{ МОМ/м}$ $x' = 0,600 \text{ МОМ/м}$	
BA57-35 125 / 1000,0	
ABBГНГ-LS- 1(5 × 70)	
$l = 33,8 \text{ м}$ $n_{ш} = 1 \text{ шт}$	
$r_{\phi} = 0,443 \text{ МОМ/м}$ $r_H = 1,090 \text{ МОМ/м}$ $x' = 0,600 \text{ МОМ/м}$	
ЭП №30	

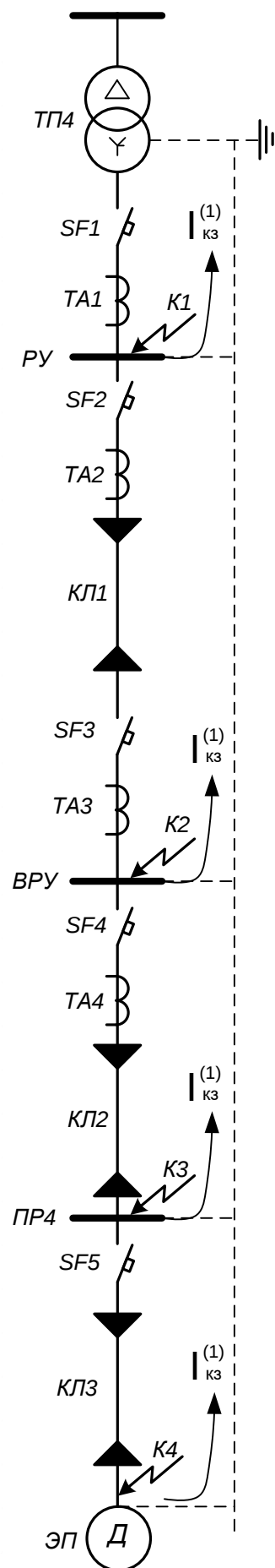


Рисунок 4.6 – Расчетная схема

Трансформатор тока ТА2-ТА4

$$R_{ТА2} = 0,05 \text{ мОм},$$

$$R_{ТА2} = 0,07 \text{ мОм},$$

$$R_{ТА3} = 0,11 \text{ мОм},$$

$$R_{ТА3} = 0,17 \text{ мОм},$$

$$R_{ТА4} = 0,42 \text{ мОм},$$

$$R_{ТА4} = 0,67 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,097 \cdot 63,6}{1} = 6,2 \text{ мОм},$$

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

$$R_{н1} = \frac{r_{н} \cdot l}{n_{н}} = \frac{0,229 \cdot 63,6}{1} = 14,5 \text{ мОм},$$

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

$$X'_1 = \frac{x' \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,600 \cdot 63,6}{1} = 38,2 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 2} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,206 \cdot 34,7}{1} = 7,1 \text{ мОм},$$

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

$$R_{н2} = \frac{r_{н} \cdot l}{n_{н}} = \frac{0,620 \cdot 34,7}{1} = 21,5 \text{ мОм},$$

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

$$X'_2 = \frac{x' \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,600 \cdot 34,7}{1} = 20,8 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ3

активное сопротивление основных проводников

$$R_{\phi 3} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,443 \cdot 33,8}{1} = 15,0 \text{ мОм},$$

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

$$R_{н3} = \frac{r_{н} \cdot l}{n_{н}} = \frac{1,090 \cdot 33,8}{1} = 36,9 \text{ мОм},$$

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

$$X'_3 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 33,8}{1} = 20,3 \text{ мОм.}$$

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

$$\begin{aligned} Z_{\text{н1}} &= \sqrt{(R_{\text{д}} + R_{\text{SF1}})^2 + (X_{\text{с}} + X_{\text{SF1}})^2} = \\ &= \sqrt{(0,03 + 0,18)^2 + (3,2 + 0,08)^2} = 3,29 \text{ мОм.} \end{aligned}$$

Ток короткого замыкания в точке К1

$$I_{\text{К1}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ф}}}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_{\text{н1}}} = \frac{220}{14,0 + 3,29} = 12,7 \text{ кА.}$$

Проверка условия

$$I_{\text{К1}}^{(1)} = 12,7 \text{ кА} > 3 \cdot I_{\text{ном.расц}} = 3 \cdot 1,600 = 4,8 \text{ кА.}$$

Проверка срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя

$$I_{\text{К1}}^{(1)} = 12,7 \text{ кА} > I_{\text{кз}} = 4,8 \text{ кА.}$$

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

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты расчёта однофазных токов короткого замыкания

Точка КЗ	Z_{Σ} , мОм	I_k , кА	$3 \cdot I_{\text{ном.расц}}$, кА	I_{k3} , кА
K1	3,3	12,7	4,8	4,8
K2	47,4	3,6	1,9	2,8
K3	82,5	2,3	0,57	1,3
K4	135,4	1,5	0,38	1,0

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А7Д	Белобородов Дмитрий Вячеславович

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 ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		28.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А7Д	Белобородов Дмитрий Вячеславович		28.02.2022

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 инструментального завода.

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, строительном секторе, а также магазины оптовой и розничной торговли. 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							
		Металлорежущий и абразивный инструмент		Газосварочное оборудование и электроинструмент		Измерительная техника		Услуги металлообработки	
Размер потребителя	Крупные								
	Средние								
	Мелкие								

	– промышленный сектор;
	– строительный сектор;
	– магазины оптовой и розничной торговли.

По карте сегментирования видно, что у всей выпускаемой продукции есть свой целевой потребитель, не зависимо от размера предприятия. Услуги металлообработки имеют более узкий круг потребителей. Остальная продукция предприятия интересна всем рассмотренным отраслям.

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		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,10	3	2	2	0,30	0,20	0,20
2. Надежность	0,10	3	2	3	0,30	0,20	0,30
3. Безопасность	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
4. Функциональная мощность	0,05	5	2	3	0,25	0,10	0,15
5. Энергоэффективность	0,10	4	2	2	0,40	0,20	0,20
6. Простота эксплуатации	0,05	5	2	3	0,25	0,10	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,20	5	3	4	1,00	0,60	0,80
2. Сервис и обслуживание	0,10	2	4	4	0,20	0,40	0,40
3. Цена	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
Итого	1,00	37	23	27	4,20	2,70	3,10

Сравнение производилось с конкурирующими заводами ОАО "Новосибирский инструментальный завод" (K_1) и АО "Сибирский инструментально-ремонтный завод" (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 сфере производительности, безопасности и энергоэффективности, а также конкурентоспособности продукта. Но у предприятия очень слабый сервис и обслуживание потребителей.

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 ОАО "Новосибирский инструментальный завод" и АО "Сибирский инструментально-ремонтный завод".

Таблица 5.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Высокая востребованность продуктов предприятия С2. Высокая ресурсоэффективность С3. Удобное местоположение предприятия С4. Квалифицированный персонал	Сл1. Текучесть кадров Сл2. Ограниченность выпускаемой продукции Сл3. Отсутствие дополнительных услуг Сл4. Сложность транспортировки продукции
Возможности	Повышение конкурентоспособности за счет разработки новых технологий. Выход на новые рынки или сегменты рынка	Качественная работа с потенциальными потребителями. Расширение сетевых активов. Работа с потенциальными инвесторами.
Угрозы	Анализ деятельности новых игроков на рынке. Своевременное обучение и повышение квалификации персонала.	Своевременное обновление оборудования. Решение проблем с транспортной логистикой
В1. Увеличение активов за счет строительства новых точек распространения продукции В2. Использование новых сырьевых источников В3. Определение целевой аудиторий В4. Привлечение инвесторов		
У1. Новые игроки на рынке У2. Нестабильная ситуация в экономике У3. Быстрое устаревание оборудования У4. Ограничение экспорта продукции		

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
Возможности	B1	+	+	–	–
	B2	+	+	+	+
	B3	–	–	–	+
	B4	+	–	–	–
Результат	B1C1C2; B2C1C2C3C4; B3C4; B4C1				
Угрозы	У1	+	–	+	–
	У2	+	+	–	0
	У3	+	0	–	–
	У4	0	–	+	–
Результат	У1C1C3; У2C1C2; У3C1; У4C3				
Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности	B1	–	+	–	+
	B2	–	+	+	0
	B3	–	+	+	+
	B4	–	+	+	+
Результат	B1Сл2Сл4; B2Сл2Сл3; B3Сл2Сл3Сл4; B4Сл2Сл3Сл4				
Угрозы	У1	0	0	+	–
	У2	–	+	–	–
	У3	–	+	0	0
	У4	–	+	–	+
Результат	У1Сл3; У2Сл2; У3Сл2; У4Сл2Сл4				

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:

- производить анализ деятельности новых игроков на рынке и действовать на опережение, расширяя ассортимент и повышая качество продукции;
- для уменьшения влияния мировой экономической рецессии необходимо делать упор на поставки сырья и комплектующих российского производства;
- своевременно обновлять технологическое оборудование;
- для уменьшения ограничения экспорта продукции необходимо делать упор на внутренний рынок.

Для борьбы со слабыми сторонами необходимо:

- качественно решать вопросы внутренней политики предприятия – повышать квалификацию сотрудников, обеспечивать социальные потребности, поощрять, обеспечивать профессиональный рост;
- расширять ассортимент, в расчете как на крупных потребителей, так и на мелких, включая физических лиц;
- заниматься не только расширением номенклатуры товара, но и предлагать услуги по обработке материалов, а также установке и обслуживанию оборудования;
- решать вопросы логистики.

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 случаев 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

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{Ч} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \text{ раб. дн.},$$

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	–	1	–	3	–	1,8	1,8	3
5	Определение электрических нагрузок	–	12	–	18	–	14,4	14,4	21
6	Расчёт схемы электроснабжения	–	12	–	15	–	13,2	13,2	20
7	Выбор и проверка оборудования	–	5	–	10	–	7,0	7,0	10
8	Расчёт токов КЗ и потерь напряжения	–	2	–	4	–	2,8	2,8	4
9	Оценка правильности полученных результатов	3	3	6	6	4,2	4,2	4,2	6
10	Оценка эффективности полученных результатов	5	5	7	7	5,8	5,8	5,8	9
11	Составление пояснительной записки	–	8	–	11	–	9,2	9,2	14
12	Подготовка комплекта чертежей	–	12	–	14	–	12,8	12,8	19
Итого		11	65	19	97	14,2	77,8	79,2	118

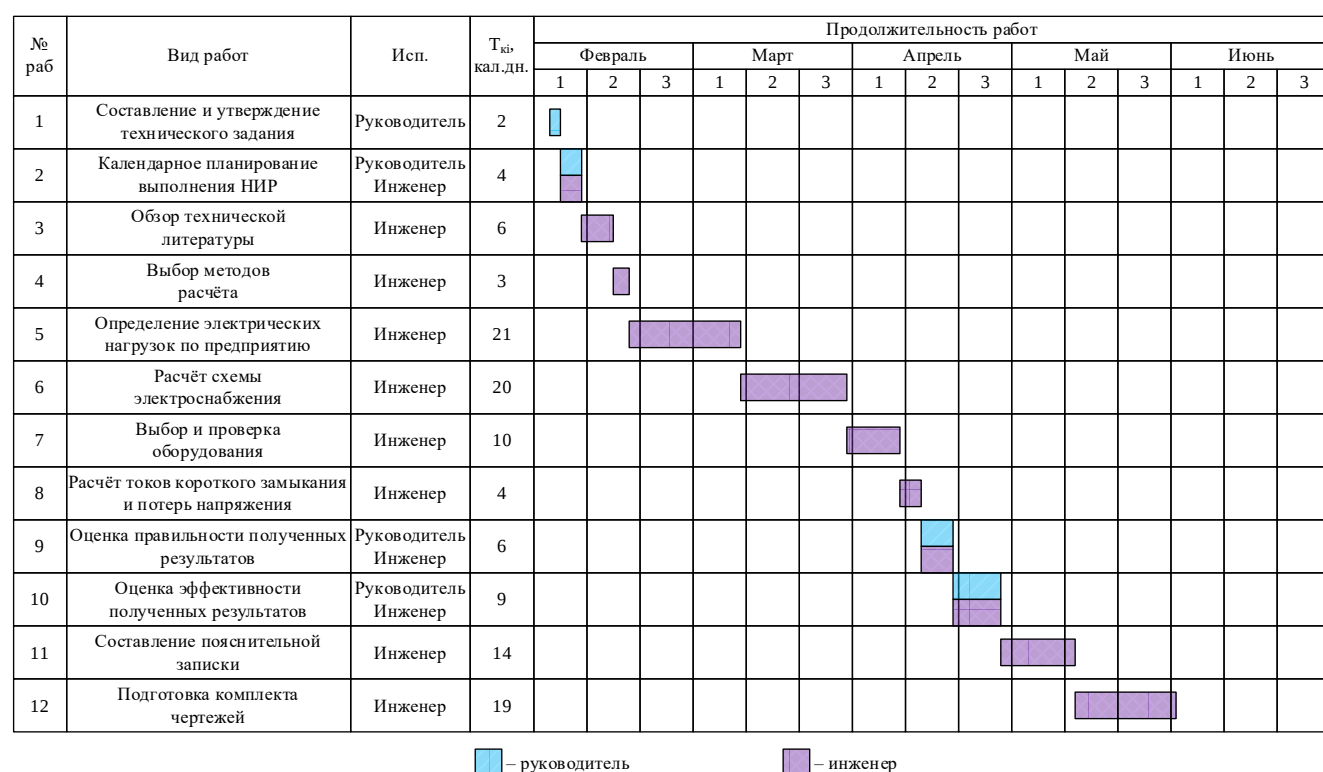


Рисунок 5.1 – Календарный план-график выполнения проекта

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	850,0	850,0
Упаковка бумаги А4 500 листов	1	625,0	625,0
Канцтовары	–	750,0	750,0
Картридж для принтера	1	1550,0	1550,0
Итого $Z_{\text{мат}}$, руб	–	–	3775,0

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

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 45000}{12} \cdot 3,93 = 4916,7 \text{ руб},$$

где I – итоговая сумма (таблица 5.8), руб;

m – время использования, мес.

Дальнейший расчёт сведём 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	45000,0	45000,0	0,33	3,93	4916,7
2. Принтер	1	3	5000,0	5000,0	0,33	3,93	546,3
Итого	–	–	–	50000,0	–	–	5463,0

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

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + \kappa_{\text{пр}} + \kappa_{\text{д}}) \cdot \kappa_{\text{р}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,20) \cdot 1,3 = 51285,0 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + \kappa_{\text{пр}} + \kappa_{\text{д}}) \cdot \kappa_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,20) \cdot 1,3 = 33150,0 \text{ руб.},$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб;

$\kappa_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент (30% от $З_{\text{тс}}$);

$\kappa_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (15÷20% от $З_{\text{тс}}$);

$\kappa_{\text{р}}$ – районный коэффициент (1,3 для Томска).

Среднедневная заработная плата исполнителей проекта

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{51285,0 \cdot 10,4}{246} = 2168,1 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{33150,0 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.},$$

где $М$ – 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;

$F_{\text{д}}$ – среднее количество рабочих дней в году (таблица 5.9).

Основная заработная плата исполнителей проекта

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 2168,1 \cdot 14,2 = 30787,7 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 1743,1 \cdot 77,8 = 135613,1 \text{ руб.},$$

где $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ по проекту (таблица 5.6), раб.дн.

Затраты по дополнительной заработной платой исполнителей проекта учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot \kappa_{\text{доп}} = 30787,7 \cdot 0,15 = 4618,2 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot \kappa_{\text{доп}} = 135613,1 \cdot 0,15 = 20342,0 \text{ руб.},$$

где $\kappa_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Итоговая заработная плата исполнителей проекта

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} = 30787,7 + 4618,2 = 35405,8 \text{ руб.},$$

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} = 135613,1 + 20342,0 = 155955,0 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы исполнителей сведем в таблицу 5.10

Таблица 5.10 – Расчет заработной платы

Исполнители	З _{те} , руб	К _{пр}	К _д	К _р	З _м , руб	З _{дн} , руб	Т _р , раб.дн	З _{осн} , руб	К _{доп}	З _{доп} , руб	З _{зп} , руб
Руководитель	26300	0,3	0,20	1,3	51285,0	2168,1	14,2	30787,7	0,15	4618,2	35405,8
Инженер	17000	0,3	0,20	1,3	33150,0	1743,1	77,8	135613,1	0,15	20342,0	155955,0
Итого	–	–	–	–	–	–	–	166400,7	–	24960,1	191360,9

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

$$З_{внеб} = К_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (166400,7 + 24960,1) = 57408,3 \text{ руб.},$$

где $К_{внеб}$ – 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

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{мат}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) = \\ = 0,16 \cdot (3775,0 + 5463,0 + 166400,7 + 24960,1 + 57408,3) = 41281,1 \text{ руб.},$$

где $k_{\text{нр}}$ – 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 $Z_{\text{мат}}$	3775,00	Пункт 5.2.3.1
2	Амортизация основных фондов $Z_{\text{ам}}$	5462,96	Пункт 5.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате $Z_{\text{осн}}$	166400,75	Пункт 5.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате $Z_{\text{осн}}$	24960,11	Пункт 5.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды $Z_{\text{внеб}}$	57408,26	Пункт 5.2.3.4
6	Накладные расходы $Z_{\text{накл}}$	41281,13	Пункт 5.2.3.5
Бюджет затрат проекта $Z_{\text{пр}}$, руб		299288,22	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
299288,22	269629,02	283685,51

Интегральный финансовый показатель разработок

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{299288,22}{299288,22} = 1,$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{269629,02}{299288,22} = 0,90,$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{283685,51}{299288,22} = 0,95,$$

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	0,22	4	3	4
3. Монтаж	0,30	4	5	4
4. Энергоэффективность	0,10	4	3	4
5. Надежность	0,28	5	3	4
6. Материалоёмкость	0,05	3	5	4
Итого	1,00	4,28	3,80	4,05

Интегральный показатель ресурсоэффективности

$$I_{p}^{исп.i} = \sum a_i \cdot b_i,$$

$$I_{p}^{исп.1} = 0,05 \cdot 5 + 0,22 \cdot 4 + 0,30 \cdot 4 + 0,10 \cdot 4 + 0,28 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 = 4,28,$$

$$I_{p}^{исп.2} = 0,05 \cdot 5 + 0,22 \cdot 3 + 0,30 \cdot 5 + 0,10 \cdot 3 + 0,28 \cdot 3 + 0,05 \cdot 5 = 3,80,$$

$$I_{p}^{исп.3} = 0,05 \cdot 5 + 0,22 \cdot 4 + 0,30 \cdot 4 + 0,10 \cdot 4 + 0,28 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 4,05,$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p}^{исп.1}}{I_{фин}^{исп.1}} = \frac{4,28}{1} = 4,28,$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p}^{исп.2}}{I_{фин}^{исп.2}} = \frac{3,80}{0,90} = 4,22,$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{p}^{исп.3}}{I_{фин}^{исп.3}} = \frac{4,05}{0,95} = 4,27.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта

$$\mathcal{E}_{ср.исп.i} = \frac{I_{исп.i}}{I_{max}}.$$

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	0,90	0,95
2. Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,28	3,80	4,05
3. Интегральный показатель эффективности	4,28	4,22	4,27
4. Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,99	1,00

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее ресурсоэффективным является вариант радиальной и смешанной 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 инструментального завода востребована в различных сегментах рынка. Услуги металлообработки имеют более узкий круг потребителей. Остальная продукция предприятия интересна всем рассмотренным отраслям.

2) Проведён анализ конкурентных технических решений.

Анализ конкурентных технических решений в сравнении с аналогичными предприятиями ОАО "Новосибирский инструментальный завод" и АО "Сибирский инструментально-ремонтный завод" показал, что рассматриваемое предприятие конкурентоспособно, по сравнению с предприятиями аналогичного профиля.

Наибольшие преимущества наблюдаются в сфере производительности, безопасности и энергоэффективности, а также конкурентоспособности продукта. Но у предприятия очень слабый сервис и обслуживание потребителей.

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 проводить анализ деятельности новых игроков на рынке, своевременно обновлять технологическое оборудование. Для стабильной работы ограничить поставки зарубежного сырья и комплектующих и в целом делать упор на внутренний рынок. Необходимо расширять ассортимент продукции, предлагать различные услуги (монтаж, наладка, обслуживание...). Уделять время решению проблем с логистикой и заниматься повышением профессионализма персонала. При этом явными преимуществами является удобное месторасположение и высокая востребованность продуктов.

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 118 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 78 дня; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 14 дней.

5) Формирование бюджета.

Также был сформирован бюджет затрат на разработку проекта, который составил 299288,22 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 4,28, 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 4,28, по сравнению с 4,22 и 4,27, 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		Белобородов Дмитрий Вячеславович	
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 инструментального завода с детальной проработкой кузнечного 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	<i>Объект исследования</i> <u>электротехническое оборудование цеха</u> <i>Область применения</i> <u>кузнечный цех</u> <i>Рабочая зона:</i> <u>производственное помещение кузнечного цеха</u> <i>Размеры помещения</i> <u>80х36 м (2880 м²)</u> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> <u>40 электроприёмников различного назначения: печи, станки, молоты, вентиляторы, нагревательные плиты, кран-балки, сварочное оборудование</u> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> <u>штамповка, поковка и закалка заготовок</u>
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 ГОСТ 22902-78 Система «человек-машина». Отсчетные устройства индикаторов визуальных. Общие эргономические требования. 14. ГОСТ 23000-78 Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность при эксплуатации: Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	Вредные производственные факторы: 1. Отклонение показателей микроклимата; 2. Повышенный уровень шума; 3. Повышенный уровень вибрации; 4. Недостаточный уровень освещения; Опасные производственные факторы: 1. Поражение электрическим током; 2. Механические травмы от движущихся механизмов и машин. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: 1. Вентиляция и отопление; 2. Звукоизоляция, наушники и беруши; 3. Настройка оборудования, амортизация оборудования; 4. Местное освещение; 5. Заземление, УЗО, контроль изоляции; 6. Защитные очки и маски, кожаные и ограждения, правильная организация рабочего места.

3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<i>Воздействие на литосферу</i> <u>Остатки лома, стружка, упаковочный материал</u> <i>Воздействие на гидросферу</i> <u>Сточные воды, образуемые при охлаждении и уборки оборудования, масла, окалины</u> <i>Воздействие на атмосферу</i> <u>Выбросы оксида углерода, серы, азота и других продуктов сгорания. Пыль, эмульсии.</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	Белобородов Дмитрий Вячеславович		

6 Социальная ответственность

На предприятии создаются здоровые и безопасные условия труда, устанавливаются правовые основы регулирования отношений в области охраны труда между работодателями и работниками, а также создаются условия труда, соответствующие требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

Обеспечение здоровых и безопасных условий труда возлагается на администрацию предприятия. Администрация обязана внедрять современные средства техники безопасности, предупреждающие производственный травматизм, и обеспечивать санитарно-гигиенические условия, предотвращающие возникновение профессиональных заболеваний работников.

Одним из главных цехов инструментального завода является кузнечный цех. Назначение кузнечного цеха – изготовление поковок и штампов. В кузнечном цехе применяется широкая номенклатура различного технологического и вспомогательного оборудования. Технологическое оборудование кузнечных цехов может быть разбито на четыре основные группы: термическое,

Работники кузнечного цеха, постоянно подвергаются воздействию опасных и вредных факторов. Целью курсовой работы является разработка мероприятий по улучшению условий труда и повышению уровня безопасности рабочего места кузнеца.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

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

Труд рабочих в кузнечном цехе характеризуется повышенной опасностью и вредностью. Согласно Трудовому кодексу РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций» дополнительно может быть рассмотрено:

- уменьшение рабочего времени;
- дополнительный ежегодный отпуск;
- доплата за вредные условия труда;
- досрочный выход на пенсию;
- компенсационные выплаты;
- выдача молока (либо денежная компенсация за молоко за вредность);
- обязательное проведение периодических медосмотров за счет работодателя.

Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ:

Кузнец должен пройти обязательный медицинский осмотр, вводный инструктаж по охране труда, производственной санитарии и пожарной безопасности, первичный инструктаж по охране труда непосредственно на рабочем месте с последующим оформлением допуска.

Осмотреть и надеть спецодежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты установленного образца. Застегнуть или обвязать обшлага рукавов, заправить одежду так, чтобы не было развевающихся концов, волосы убрать под плотно облегающий головной убор. Куртка должна перекрывать поясную часть брюк, а брюки – верхнюю часть ботинок.

Получить задание на выполнение работы у руководителя работ.

Проверить рабочее место:

- габариты подходов и проходов на рабочее место;
- установить требующиеся при работе щиты (со стороны проходов и в других местах) для предохранения окружающих от возможного поражения отлетающей окалиной или частицами металла, а также экраны от вредного теплового воздействия нагревательных устройств;

- проверить исправность и эффективность работы местной вытяжной вентиляции;
- исправность необходимого для работы инструмента и приспособлений и разложить их в удобном для работы порядке;
- проверить наличие чистой воды в бачке для охлаждения инструмента;
- проверить наличие и исправность заземления электрооборудования прессов и молотов;
- проверить состояние щеток для удаления окалины, ручка должна быть такой длины, чтобы руки рабочего были вне зоны движущихся частей пресса или оснастки.

Пол на рабочем месте содержать ровным и сухим (нескользким), своевременно производить уборку и не загромождать его заготовками, отходами и другими предметами.

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]

окончание таблицы 1

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 производственных помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, и скорости движения воздуха. Микроклимат оказывает влияние на процесс теплообмена и характер работ. Длительное воздействие на человека неблагоприятных условий резко ухудшает его самочувствие, снижается производительность труда, и приводит к заболеванию:

1) воздействие высокой температуры быстро утомляет, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профессиональным заболеваниям;

2) низкая температура – местное или общее охлаждение организма, причина простудных заболеваний или обморожения;

3) высокая относительная влажность при высокой температуре способствует перегреву организма; при низкой усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению;

4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек 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].

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

Кузнечный цех – помещение с большими тепловыми выделениями. Данное помещения принято именовать горячим цехом. Выделения тепла от оборудования сопровождаются значительным повышением температуры воздуха в рабочей зоне кузнечных цехов, которая часто достигает 34-36° при относительной влажности 25-30%. Наряду с неблагоприятными температурными условиями работающие в кузнечных цехах подвергаются воздействию лучистого тепла от нагретых поверхностей печей и особенно от стальных поковок, которые нагреваются до температуры 760-1100°.

Параметры микроклимата поддерживаются системой вентиляции. Нормы производственной вентиляции установлены согласно СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [5].

6.2.2 Повышенный уровень шума

В кузнечном цехе возникают шумы очень высокой интенсивности, превышающие нормативные требования более чем на 30 дБ А. Такие уровни шума характерны для работ кузнечно-прессовых машин, молотов, гибочных машин.

Громкий звук является общебиологическим раздражителем, который оказывает негативное влияние не только на органы слуха, но и на весь организм в целом. Длительная звуковая нагрузка раздражающе действует на нервную систему, вызывая беспокойство, раздражение, неврозы.

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	
Постоянные рабочие места в производственных помещениях	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Шум от включения прессы можно уменьшить, обеспечивая плавность процесса включения посредством замены кулачковых муфт фрикционными или пневматическими. Это позволяет снижать уровень шума на рабочем месте на 8-11 дБ.

Работающие в кузнечных цехах для предотвращения вредного действия производственного шума на органы слуха должны пользоваться средствами индивидуальной защиты – противοшумными наушниками ВЦНИИОТ, а также противοшумными вкладышами «Беруши».

6.2.3 Повышенный уровень вибрации

Наибольшие вибрации создаются при работе штамповочных прессов и молотов.

При действии на организм вибрации страдает в первую очередь нервная система и анализаторы: вестибулярный, зрительный, тактильный. Вибрация является специфическим раздражителем для вестибулярного анализатора, причем линейные ускорения – для отолитового аппарата, расположенного в мешочках преддверия, а угловые ускорения – для полукружных каналов внутреннего уха.

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	63
Технологическая	117	108	102	101

В местах распространения вибрацию снижают, используя дополнительные устройства, встраиваемые в конструкцию машины; применяя демпфирующие покрытия, а также используя антифазную синхронизацию двух или нескольких источников возбуждения.

Динамические виброгасители по конструктивному признаку могут быть пружинными, маятниковыми, эксцентриковыми, гидравлическими. Динамическое виброгашение осуществляется также при установке агрегата на массивном фундаменте.

6.2.4 Недостаточный уровень освещения

Для освещения кузнечного цеха используется естественное и искусственное освещение. Правильное освещение рабочих мест в цехе имеет большое значение для создания безопасных условий труда. Неудовлетворительное освещение может служить причиной травматизма, отрицательно влияет на зрение работающих, понижает производительность труда. Особо важное значение имеет рациональное освещение при работах, требующих большого напряжения зрения, например контроль заготовок. При проведении таких работ часто возникает зрительное утомление, боль в глазах, слезотечение.

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
Открытаяковка (штамповка)	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 качестве источников искусственного освещения применяются в цехе применяются газоразрядные лампы.

6.2.5 Электробезопасность

Эксплуатация большинства машин кузнечного цеха связана с применением электрической энергии. Электрический ток, проходя через организм, оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие, вызывая местные и общие электротравмы.

Местные травмы подразделяются на: электрические ожоги, электрические знаки, металлизацию кожи, механические повреждения, электроофтальмию.

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

В кузнечном цехе высокий уровень производственного травматизма, составляющий в среднем до 20% всей заболеваемости с потерей трудоспособности. Он почти в 1,5-2 раза выше, чем на предприятиях машиностроительной промышленности в целом. Среди травм в кузнечном цехе обращает внимание более высокий удельный вес ожогов, достигающий 11-15% всех видов травм. Особую опасность травматизма представляет отлетание окалины (окислы железа), а также более крупных частиц металла и разных предметов, что является причиной травматизма у молотобойцев в 31% случаев, а у кузнецов в 43%. Относительно большое число травм в кузнечных цехах происходит при перемещении материалов и изделий с помощью различных транспортных средств и вручную.

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].

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

6.3 Экологическая безопасность

В процессе нагрева и обработки металла давлением выделяется пыль, кислотный и масляный аэрозоль (туман), оксид углерода, диоксид серы и др. При использовании в кузнечном цехе для нагрева металла пламенных печей в атмосферу выбрасываются оксид углерода, серы, азота и другие продукты сгорания.

Механическая обработка сопровождается выделением пыли, стружки, туманов масла и эмульсии, которые через вентиляционные системы выбрасываются из помещений в атмосферу. Пыль, образующаяся в процессе абразивной обработки, состоит на 30 - 40 % из материала абразивного круга и на 60 - 70% из материала обрабатываемой заготовки.

Основными загрязнителями сточных вод в кузнечном цехе являются частицы пыли, окалины, масла. Вода используется для охлаждения оборудования, гидросбива окалины, уборки помещений.

Основным твердым отходом при металлообработке является стружка, также в качестве отходов фигурирует ветошь, упаковочные материалы.

При работе оборудования возникают энергетические выбросы, такие как шум, вибрации, тепловые излучения.

Методы борьбы:

1. Процеживание используется для выделения из сточных вод крупных нерастворимых примесей, а также более мелких волокнистых загрязнений.

2. Для уменьшения вредных воздействий на окружающую среду, обуславливаемых работой металлорежущего оборудования, применяется обильное охлаждение режущих инструментов.

3. Для очистки воздуха внутри помещения и выбрасываемого наружу, используются воздухоочистительные фильтры.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия, эпидемия, эпизоотия, эпифитотия, 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".

На предприятии должен быть установлен противопожарный режим и выполнены противопожарные мероприятия. Составляются карточки тушения пожара и оперативный план пожаротушения. Оперативный план пожаротушения является основным документом, состоит из графической и текстовой части и разрабатывается предприятием совместно с пожарной охраной.

В цехе должны быть оформлены уголки пожарной безопасности и пожарные щиты. Для ведения надзора за соблюдением противопожарным режимом из числа инженерно-технического персонала должны быть назначены лица ответственные за пожарную безопасность.

Для предотвращения возникновения пожаров на предприятии принимаются следующие меры:

- 1) Проводятся профилактические мероприятия, инструктажи рабочих.
- 2) В каждом цехе предусмотрены меры эвакуации – запасные выходы, пожарные проходы, висят планы эвакуации.
- 3) В цехе находятся первичные средства пожаротушения.
- 4) В доступном месте висят инструкции по действиям при пожаре с указанием последовательности действий.
- 5) Цех обеспечен звуковой пожарной сигнализацией.

6.5 Выводы по разделу

Обеспечение безопасности жизнедеятельности человека в условиях производственной среды и трудового процесса невозможно без применения комплексного подхода, заключающегося в разработке взаимосвязанных мероприятий различной направленности.

Одна из основных законодательно установленных задач работодателя в области охраны труда – проведение мероприятий по улучшению условий труда, предотвращению травматизма и профессиональных заболеваний.

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 Пб – 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 II категорию, как объект, оказывающий умеренное негативное воздействие на окружающую среду.

Заключение

Целью работы было осуществление электроснабжения электроприёмников кузнечного цеха инструментального завода и всего предприятия в целом.

Одной из задач было проведение инженерных изысканий, связанных с изучением климата, географических и геологических условий местности. С учетом изученных условий производилось дальнейшее проектирование объекта электроснабжения, выбор оборудования, соответствующего климатическим условиям, и канализация электрической энергии.

Первым этапом для достижения цели было 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 категоричность 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. Магадан [Электронный ресурс]. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Иркутск>
3. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
4. Почвы: характеристики и карты [Электронный ресурс]. – <https://ezrf.ru/poleznye-stati/pochvy-harakteristiki-i-karty>
5. СНиП 23-01-99 Строительная климатология
6. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.
7. Иркутская область [Электронный ресурс]. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Магаданская_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.energospec.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

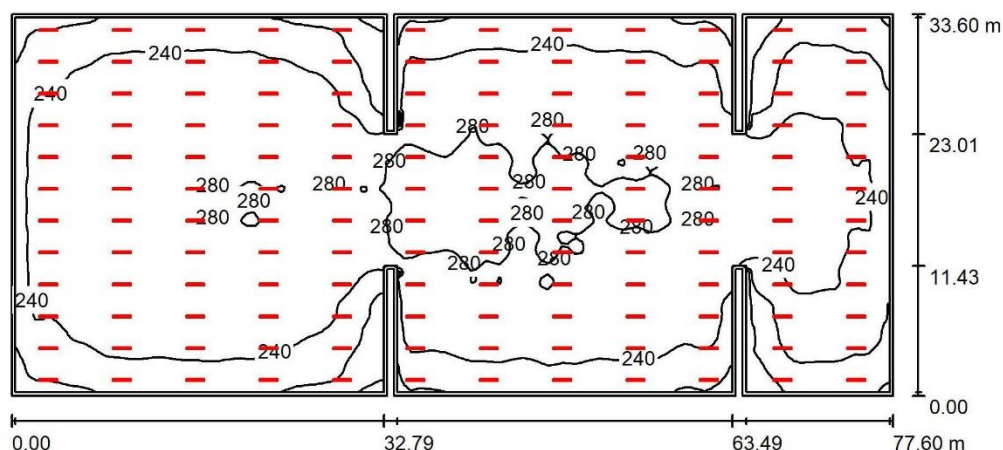
Светотехнический расчёт

Проект 1



Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Помещение 1 / Резюме



Высота помещения: 5.000 m, Монтажная высота: 4.500 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.71

Значения в Lux, Масштаб 1:555

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	249	126	289	0.506
Полы	20	247	132	292	0.532
Потолок	70	106	67	219	0.634
Стенки (20)	50	198	106	485	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.000 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краевая зона: 0.300 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	144	Lighting Technologies ARCTIC 249 (SAN/SMC) HF (1.000)	7385	8600	98.0
Всего:			1063451	Всего: 1238400	14112.0

Удельная подсоединенная мощность: $5.47 \text{ W/m}^2 = 2.19 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 2581.67 m^2)

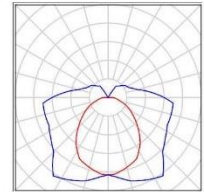


Оператор
Телефон
Факс
Электронная почта

Помещение 1 / Ведомость светильников

144 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: 1063451 lm
Общая мощность: 14112.0 W
Коэффициент эксплуатации: 0.71
Краевая зона: 0.300 m

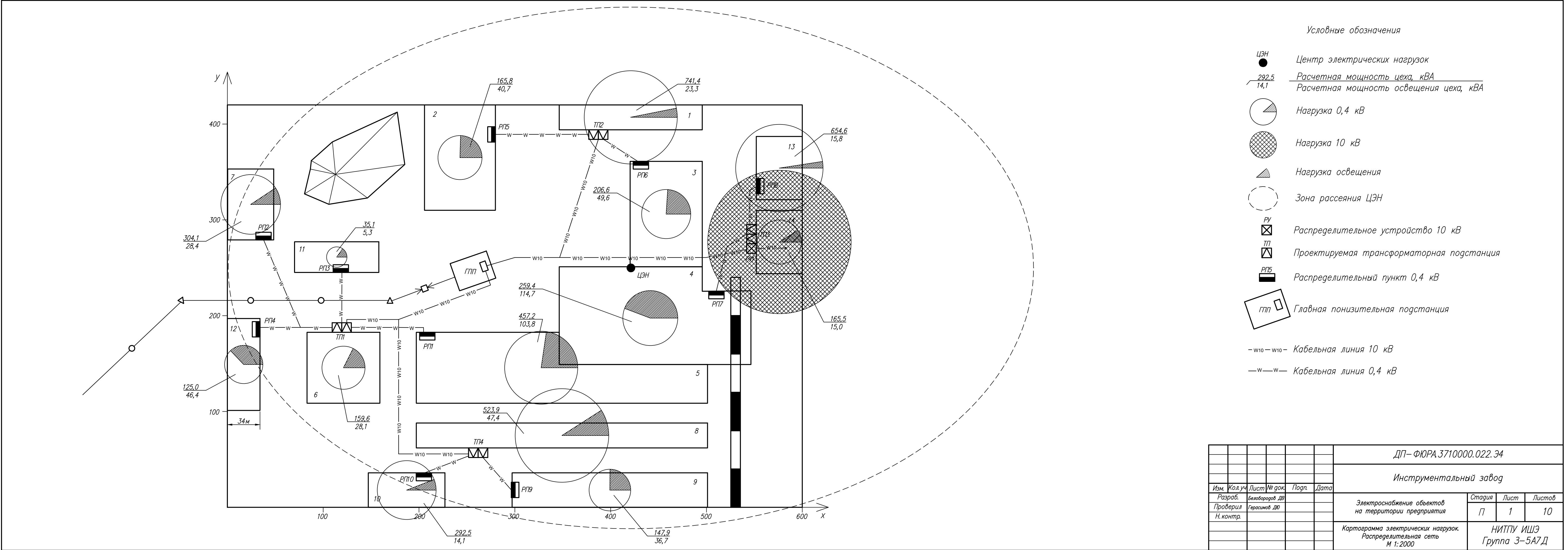
Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средняя Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	171	78	249	/	/
Полы	168	79	247	20	16
Потолок	45	61	106	70	24
Стенка 1	108	61	169	50	27
Стенка 2	97	64	160	50	25
Стенка 3	180	67	248	50	39
Стенка 4	115	70	185	50	30
Стенка 5	194	71	265	50	42
Стенка 6	106	66	173	50	27
Стенка 7	130	58	188	50	30
Стенка 8	109	66	176	50	28
Стенка 9	165	67	232	50	37
Стенка 10	109	72	181	50	29
Стенка 11	131	61	192	50	31
Стенка 12	118	64	181	50	29
Стенка 13	195	71	266	50	42
Стенка 14	115	75	190	50	30
Стенка 15	181	68	249	50	40
Стенка 16	105	65	170	50	27
Стенка 17	109	60	169	50	27
Стенка 18	82	63	145	50	23
Стенка 19	144	63	207	50	33
Стенка 20	83	70	153	50	24

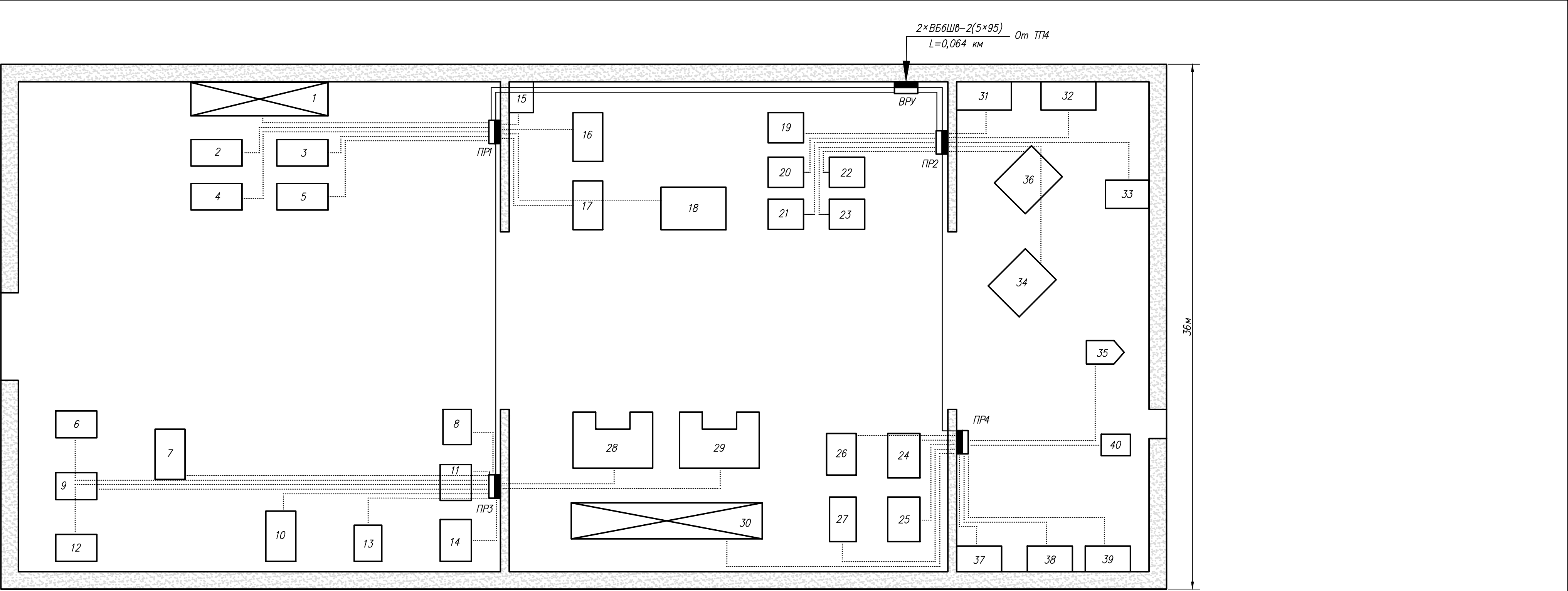
Равномерность на рабочей плоскости

$E_{\min} / E_{\text{cp}}: 0.506 (1:2)$

$E_{\min} / E_{\max}: 0.436 (1:2)$

Удельная подсоединенная мощность: $5.47 \text{ W/m}^2 = 2.19 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 2581.67 m^2)





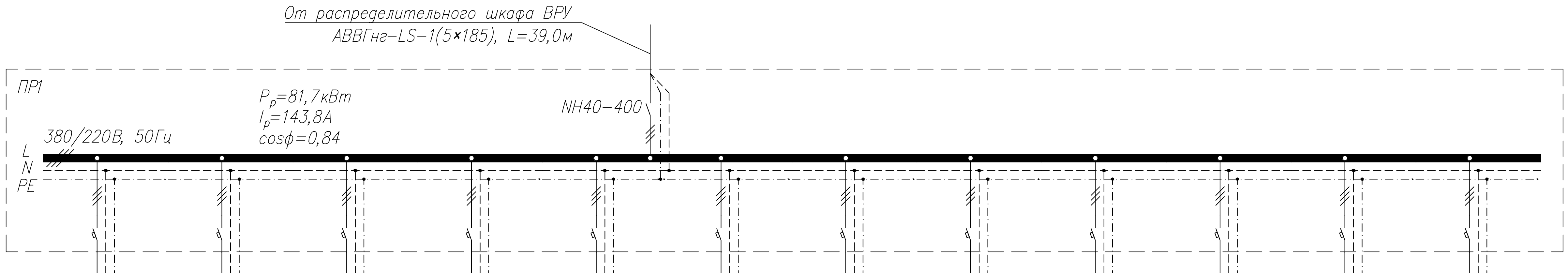
Ведомость нагрузок распределительного шкафа и характеристика питающих линий

Пункт ПР1: ПР11-7123	Р _{уст} кВт	I _{ном} А	L м	Марка кабеля	Способ прокладки	Номер по плану
Кран-балка ПВ = 25%	32,0	109,3	24,4	АВВГнг-LS- 1(5 × 70)	лотки	1
Фрезерный станок	8,0	113,8	27,2	АВВГнг-LS- 1(5 × 4)	лотки	2
Фрезерный станок	8,0	113,8	20,4	АВВГнг-LS- 1(5 × 4)	лотки	3
Фрезерный станок	8,0	113,8	30,1	АВВГнг-LS- 1(5 × 4)	лотки	4
Фрезерный станок	8,0	113,8	23,1	АВВГнг-LS- 1(5 × 4)	лотки	5
Сушильный шкаф	12,0	19,2	9,5	АВВГнг-LS- 1(5 × 16)	лотки	15
Закалочная печь	22,0	35,2	12,7	АВВГнг-LS- 1(5 × 10)	лотки	16
Закалочная печь	22,0	35,2	17,5	АВВГнг-LS- 1(5 × 10)	лотки	17
Пресс	60,0	157,6	24,0	АВВГнг-LS- 1(5 × 120)	лотки	18

Условные обозначения

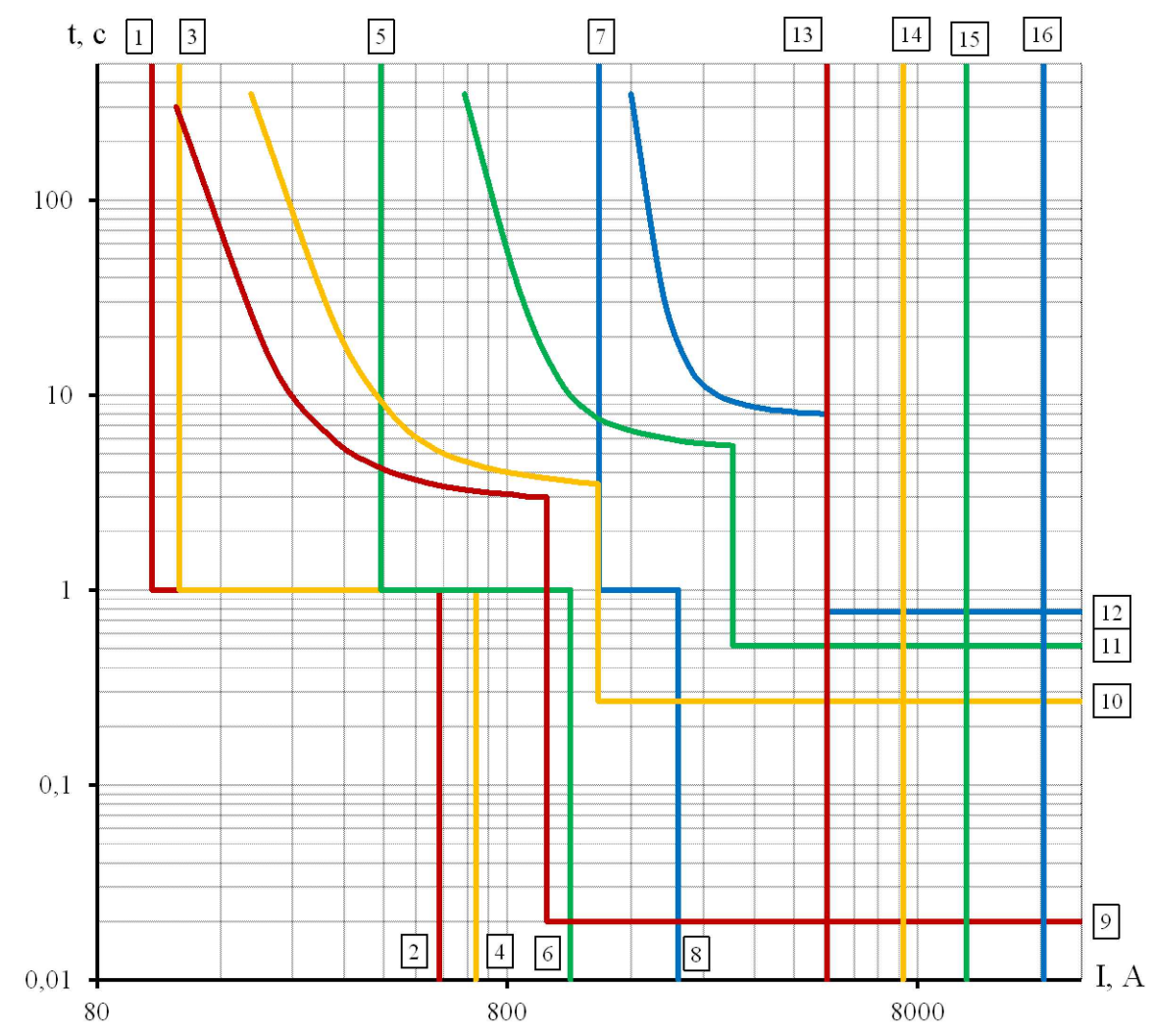
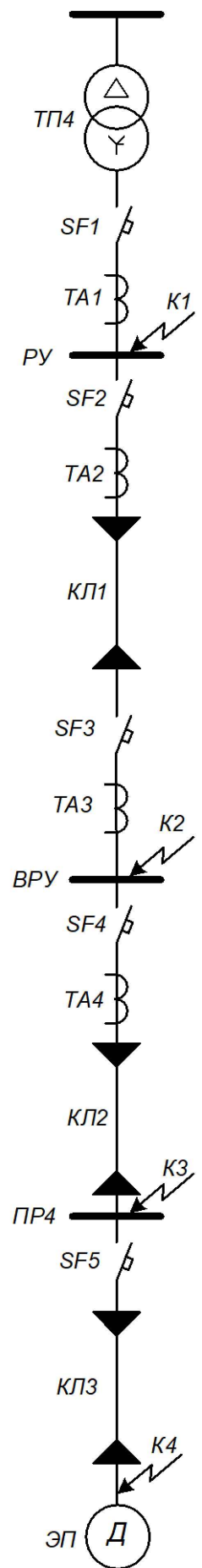
- Кабельные линии 0,4 кВ, питающие распределительные пункты
- Кабельные линии 0,4 кВ, питающие электроприемники
- Пункт распределительный

						ДП– ФЮРА.3710000.024.34			
						Инструментальный завод			
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Электроснабжение промышленных потребителей в здании кузнечного цеха	Стадия	Лист	Листов
Разраб.		Белобородов ДВ					П	3	
Проверил		Герасимов ДЮ							
Н. контр.						План силовой сети кузнечного цеха М 1:200	НИТПУ ИШЭ Группа 3–5А7Д		



Номер группы	ПР1-1	ПР1-2	ПР1-3	ПР1-4	ПР1-5	ПР1-6	ПР1-7	ПР1-8	ПР1-9	ПР1-10	ПР1-11	ПР1-12
Установленная мощность, кВт	32,0	8,0	8,0	8,0	8,0	12,0	22,0	22,0	60,0			
Расчетный ток, А	109,3	113,8	113,8	113,8	113,8	19,2	35,2	35,2	157,6			
Защитный аппарат	ВА57-35	ВА47-29	ВА47-29	ВА47-29	ВА47-29	ВА47-29	ВА47-29	ВА47-29	ВА57-35			
Тепловой расцепитель, А	125	25	25	25	25	50	40	40	200			
Уставка срабатывания расцепителя	8	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	6			
Марка, сечение проводника, мм²	АВВГнг-LS-1(5×70)	АВВГнг-LS-1(5×4)	АВВГнг-LS-1(5×4)	АВВГнг-LS-1(5×4)	АВВГнг-LS-1(5×4)	АВВГнг-LS-1(5×16)	АВВГнг-LS-1(5×10)	АВВГнг-LS-1(5×10)	АВВГнг-LS-1(5×120)			
Способ прокладки, длина, м	лоток, короб 24,4м	лоток, короб 27,2м	лоток, короб 20,4м	лоток, короб 30,1м	лоток, короб 23,1м	лоток, короб 9,5м	лоток, короб 12,7м	лоток, короб 17,5м	лоток, короб 24,0м			
Наименование потребителя	Кран-балка	Фрезерный станок	Фрезерный станок	Фрезерный станок	Фрезерный станок	Сушильный шкаф	Закалочная печь	Закалочная печь	Пресс	Резерв	Резерв	Резерв

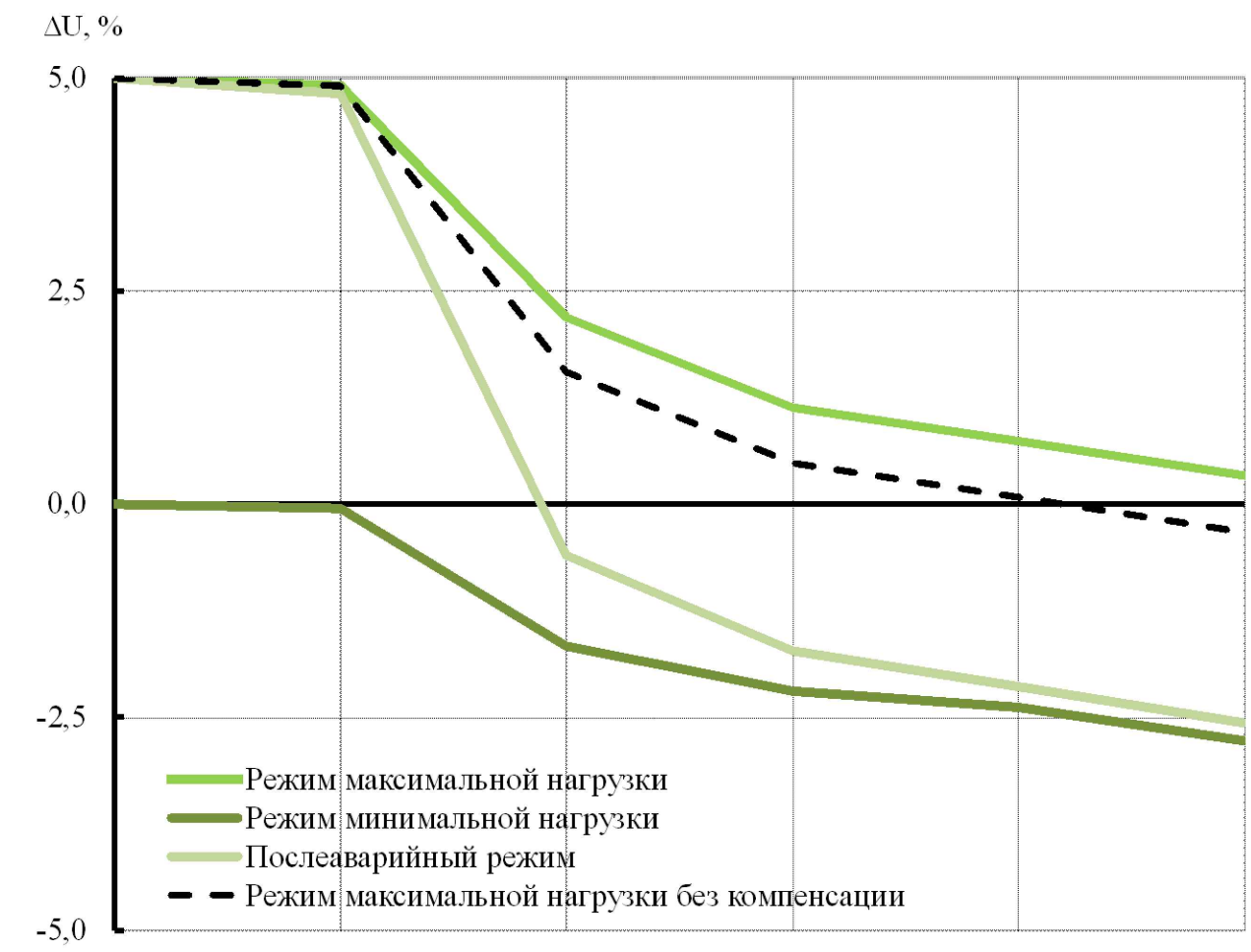
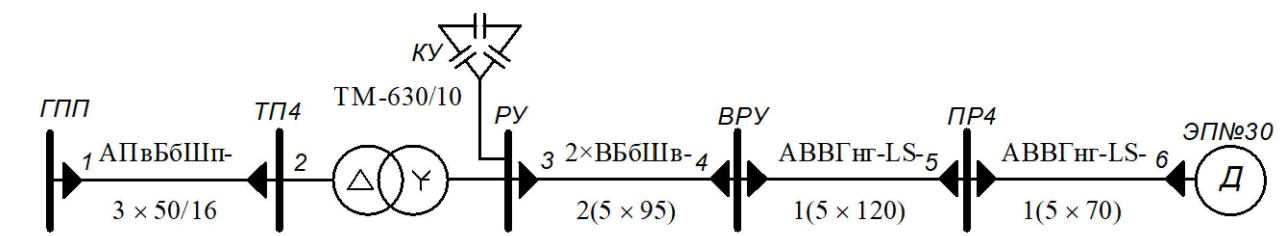
						ДП– ФЮРА.3710000.027.34						
						Инструментальный завод						
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Разработка схемы электроснабжения до 1000 В			Стадия	Лист	Листов	
Разраб.		Белобородов ДВ							П	6		
Проверил		Герасимов ДЮ				Однолинейная схема распределительного пункта ПР1			НИТПУ ИШЭ Группа 3–5А7Д			
Н. контр.												



Узел нагрузки	ТП4	ВРУ	ПР4	ЭП №30
Расчетный ток I_p , А	1340,1	394,5	127,3	—
Пиковый ток $I_{пик}$, А	2088,6	1143,0	670,8	—
Номинальный ток $I_{ном}$, А	—	—	—	109,3
Пусковой ток $I_{пуск}$, А	—	—	—	546,3
Ток КЗ I_k , А	16255,1	10511,6	7360,3	4803,8
Тип аппарата	BA53-43	ABB T6N	BA74-40	BA57-35
Условия срабатывания по току				
– при перегрузке $I_{ном.расц}$, А	1600	630	190	125,0
– при КЗ $I_{кз}$, А	4800,0	2835,0	1330,0	1000,0
Условия срабатывания по времени, с	0,77	0,52	0,27	0,02

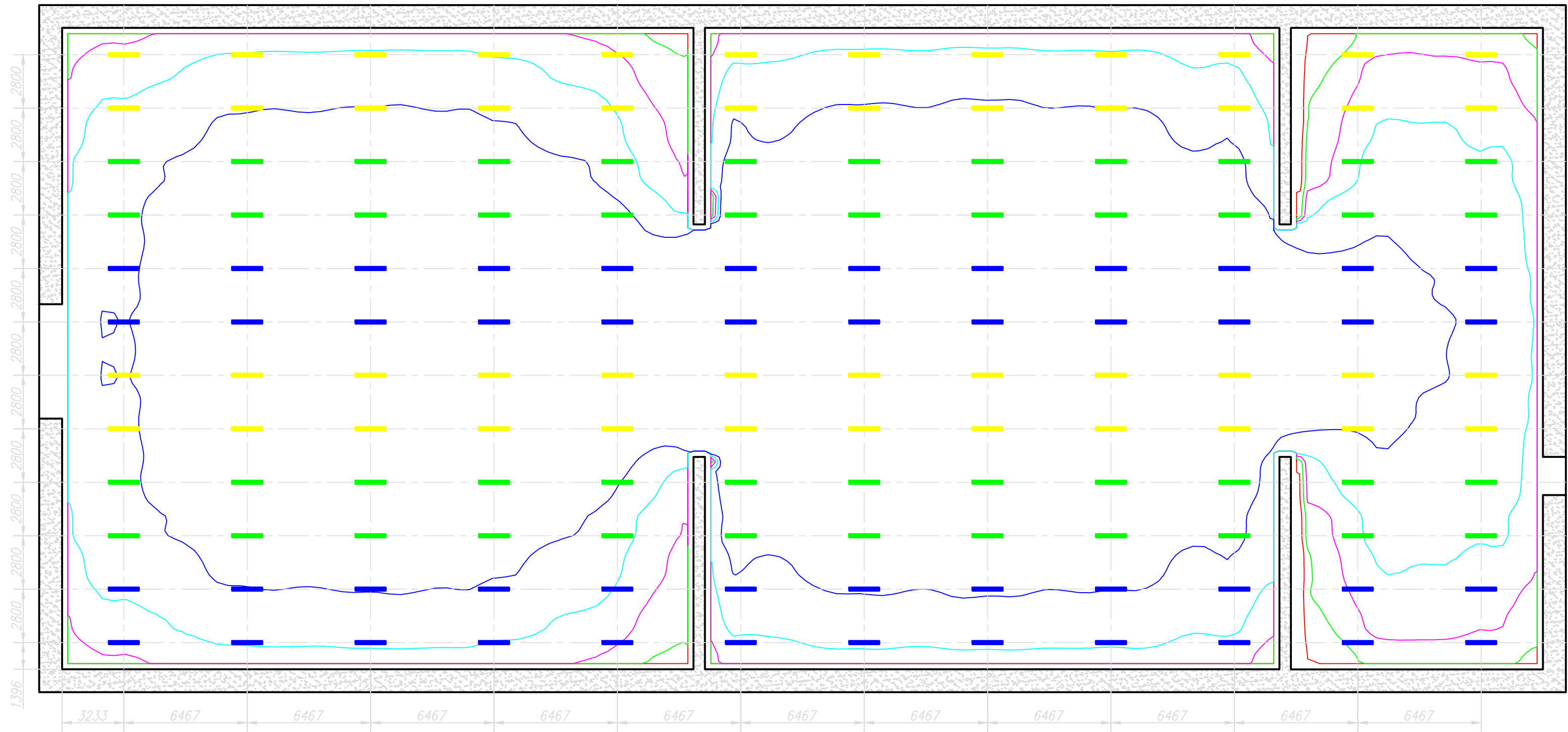
- 1 – номинальный ток электроприемника;
2 – пусковой ток электроприемника;
3 – расчетный ток ПР;
4 – пиковый ток ПР;
5 – расчетный ток ВРУ;
6 – пиковый ток ВРУ;
7 – расчетный ток ТП;
8 – пиковый ток ТП;

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.



ДП– ФЮРА.3710000.028.34					
Инструментальный завод					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Белобородов ДВ				
Проверил	Герасимов ДЮ				
Н.контр.					
Разработка схемы электроснабжения до 1000 В					Эпюра отклонения напряжения Карта селективности
СТАДИЯ					ЛИСТ
П					7
НИТПУ ИШЭ Группа 3–5А7Д					Листов

[illegible]



Примечание:
Средняя освещенность производственного помещения 1 составляет 249 лк;
равномерность освещенности – 0,436; минимальная освещенность – 126 лк;
максимальная освещенность 289 лк; плотность осветительной нагрузки
составила 5,5 Вт/м².

- Условные обозначения
- Светильники
 - Изолиния 130 lx
 - Изолиния 160 lx
 - Изолиния 190 lx
 - Изолиния 220 lx
 - Изолиния 250 lx

						ДП– ФЮРА.3710000.0211.34			
						Инструментальный завод			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Разработка схемы освещения цеха	Стадия	Лист	Листов
Разраб.		Белобородов ДВ					П	10	
Проверил		Герасимов ДЮ							
Н. контр.						Изолинии М 1:200		НИТПУ ИШЭ Группа 3–5А7Д	