

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

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ _____ Электроэнергетика и электротехника _____

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника _____

Профиль Электроснабжение _____

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование системы электроснабжения цементного завода с детальной проработкой механического цеха

УДК 621.31.031.001.6:666.94.013:621.002

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д2	Чернов Иван Романович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рахматуллин Ильяс Аминович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ледовская Анна Михайловна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель отделения/НОЦ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Шестакова Вера Васильевна	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

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

Школа Инженерная школа энергетики (ИШЭ)

Направление подготовки (специальность) 13.03.02- Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская выпускная работа (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	Июнь 2018
--	-----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.03.18	Электроснабжение ремонтно-эксплуатационного блока	20
02.04.18	Определение расчетной нагрузки предприятия. Картограмма электрических нагрузок и определение центра электрических нагрузок	20
23.04.18.	Схема внутриводского электроснабжения. Схема внешнего электроснабжения	20
21.05.18	Расчет токов КЗ и выбор аппаратов защиты	20
22.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
25.05.18	Социальная ответственность	10
		100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рахматуллин Ильяс Аминович	К.Т.Н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова Вера Васильевна	К.Т.Н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
Профессиональные компетенции	
Р1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
Р2	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р3	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
Р4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
Р5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
Р6	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Универсальные компетенции	
Р7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники
Р8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
Р9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
Р10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.

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

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки (специальность) 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Отделение (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Шестакова В.В.
(Ф.И.О.)

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3Д2	Чернову Ивану Романовичу

Тема работы:

Проектирование системы электроснабжения цементного завода с детальной проработкой механического цеха	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.05.2018, 3527/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	Июнь 2018
--	-----------

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>	Объектом исследования является механический цех цементного завода. В качестве исходных данных представлены: <ul style="list-style-type: none">• генеральный план предприятия;• план механического цеха;• сведения об электрических нагрузках всего предприятия;• сведения об электрических нагрузках механического цеха.
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>	<ul style="list-style-type: none">• постановка задачи проектирования;• проектирование системы электроснабжения рассматриваемой цементного завода;• рассмотрение особенностей трансформаторных подстанций в системах электроснабжения с последующим выбором цеховых трансформаторов;

	<ul style="list-style-type: none"> • обсуждение результатов выполненной работы; • разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; • разработка раздела «Социальная ответственность»; • заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • схема расположения ГПП и цеховых ТП с картограммой электрических нагрузок цементного завода; • однолинейная схема внешнего электроснабжения цементного завода; • однолинейная схема электроснабжения механического цеха; • эпюры отклонений напряжения.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко Аркадий Альбертович
Социальная ответственность	Ледовская Анна Михайловна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Декабрь 2017

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рахматуллин Ильяс Аминович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д2	Чернов Иван Романович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3Д2	Чернову Ивану Романовичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника ка

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску Оклад руководитель 22800 руб/мес Оклад инженер 1к 17000 руб/мес
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	15 % премии 20 % надбавки 20% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	30% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Расчеты затрат на проектирование систем электроснабжения цементного завода.*
2. *Расчет затрат на электрооборудование механического цеха цементного завода.*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценочная карта QuaD*
2. *График Ганта*
3. *График проведения и бюджет НИИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фигурко А.А.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д2	Чернов Иван Романович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3Д2	Чернову Ивану Романовичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Система электроснабжения механического цеха цементного завода</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) 	<p>Вредные факторы воздействующие на персонал:</p> <ul style="list-style-type: none"> • шум; • вибрация; • недостаточная освещенность; • температура; • электромагнитные поля; • запыленность. <p>Опасные факторы влияющие на человека:</p> <ul style="list-style-type: none"> • поражение электрическим током.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 	<p>Анализ влияния на атмосферу.</p>

<ul style="list-style-type: none"> – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Наиболее вероятные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Пожар
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Мероприятия по организации работ электротехнического персонала.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ледовская Анна Михайловна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д2	Чернов Иван Романович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 105 с., 16 рис., 40 табл., 21 источник, 2 приложения.

Ключевые слова: электроснабжение, цех, схема, сеть, нагрузка, сварочная, станок, трансформатор, подстанция, сечение, провод, автоматический выключатель, пункт распределительный.

Объект исследования: цементный завод.

Цель работы: проектирование электроснабжение механического цеха и внутризаводской сети цементного завода.

В процессе исследования проводились расчеты нагрузок цехов и выбор составных частей внутризаводской сети.

В результате исследования выбрана схема электроснабжения цементного завода. Определены мощность и количество трансформаторов подстанций. Подобраны коммутационное оборудование, кабели и провода, проведены необходимые проверки. По результатам расчета был проведен подсчет капитальных затрат на проектирование и строительство данной схемы. Помимо этого, определены вредные и опасные факторы воздействующие на работников и организационные мероприятия для снижения их воздействий.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: цементный завод состоит из 14 цехов, по степени надежности относящиеся ко II категории, напряжение питающей сети 110кВ, напряжение внутризаводской сети 10кВ, напряжение внутрицеховой сети 0,4кВ.

Область применения: промышленность строительных материалов.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	12
1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	13
2. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	16
2.1 Описание технологического процесса	16
2.2 Выбор схемы электроснабжения и расчет электрических нагрузок механического цеха.....	18
2.3 Определение осветительной нагрузки механического цеха	29
2.4 Определение расчетной нагрузки каждого цеха и всего предприятия с учетом осветительной нагрузки	30
2.5 Картограмма и определение центра электрических нагрузок	35
2.6 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций.....	40
2.7 Схема внешнего электроснабжения предприятия	43
2.8 Схема внутриводской распределительной сети 10 кВ	47
2.9 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	51
2.10 Выбор аппаратов защиты выше 1000В	59
2.11 Выбор ответвлений к ЭП с учетом защитных аппаратов	61
2.12 Выбор распределительных шкафов (ШР).....	64
2.13 Построение эпюры отклонения напряжения	67
2.14 Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В	74
2.15 Построение карты селективности действия аппаратов защиты	77
2.16 Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ	80
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	81
3.1 Расчет затрат на проектирование систем электроснабжения цементного завода.....	82
3.2 Расчет затрат на электрооборудование механического цеха цементного завода.....	86
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	88
4.1 Производственная безопасность	88

4.1.1	Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	89
4.1.2	Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	93
4.2	Экологическая безопасность	96
4.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	97
4.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		103
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ		104
ПРИЛОЖЕНИЕ А		106
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....		107

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы является проектирование электроснабжения цементного завода, а именно: внутризаводской сети с полной проработкой механического цеха.

Необходимые данные:

- генеральный план предприятия;
- план механического цеха;
- потребители электроэнергии механического цеха;
- сведения о потреблении электроэнергии других цехов предприятия.

Система электроснабжения состоит из распределительных, понижающих подстанций и кабельных, воздушных линий. Устроена она таким образом, чтобы выполнялись некоторые из условий: экономически выгодна; надежна; практична (ремонтпригодна); безопасна.

Проектирование можно разделить на несколько этапов:

- Расчет механического цеха методом упорядоченных диаграмм;
- Расчет электрической нагрузки всего предприятия;
- Построение картограммы нагрузок, определение центра электрических нагрузок, выбор оптимального расположения главной понизительной подстанции (ГПП);
- Напряжение питающих линий, выбор сечения проводов, мощности трансформаторов ГПП и ТП;
- Расчет токов КЗ выше 1000В;
- Расчет и выбор оборудования для цеха (авт. выкл., щиты, провода), расчет токов КЗ до 1000В и построение картограммы селективности, построение эпюр отклонения напряжений.

1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является цементный завод в целом и его механический цех в частности. На рисунке 1.1 приведен генеральный план цеха.



Рисунок 1.1 План механического цеха

На рисунке 1.2 показан план цементного завода, а в таблице 1.1 приведены сведения об электрических нагрузках механического цеха.

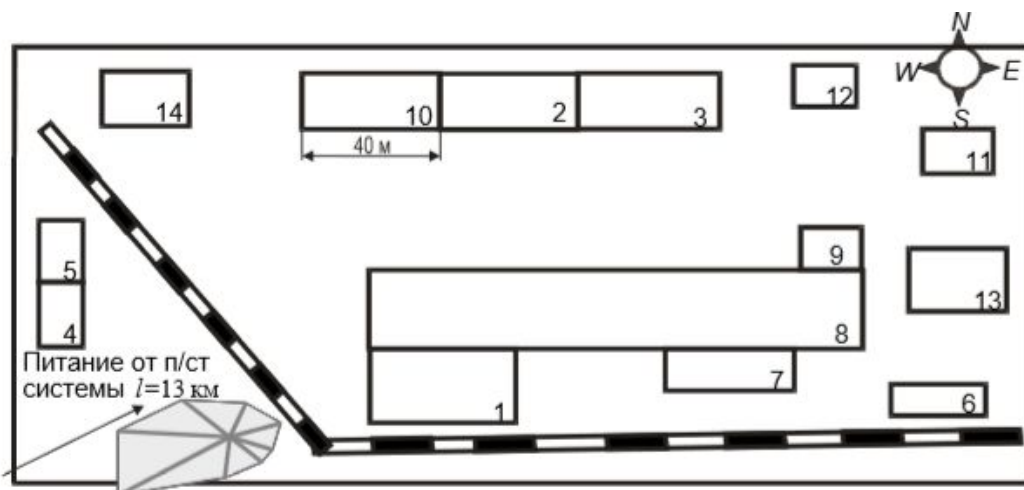


Рисунок 1.2 Генплан цементного завода

В таблице 1.2 приведена ведомость электрических нагрузок по цехам.

Таблица 1.1 – Ведомость нагрузок механического цеха

Номер на плане	Наименование ЭП	Установленная мощность ЭП, кВт
1-3	Вертикально-фрезерный станок	10
4-5	Фрезерный станок с ЧПУ	17
6,7	Универсально-фрезерный станок	12
8-11	Токарно-револьверный станок	4
12,13	Токарно-винторезный станок	17
14-21	Настольно-сверлильный станок	2,2
22-24	Резьбонарезной полуавтомат	3
25,26	Заточной станок	9
27	Листозагибочная машина	19
28-31	Точильно-шлифовальный станок	5
32-34	Вертикально-сверлильный станок	9
35,36	Радиально-сверлильный станок	6
37,38	Универсально-заточной станок	7
39	Плоскошлифовальный станок	13
40,41	Полировальный станок	10
42	Сварочная машина	7
43-48	Сварочная кабина	9
49,50	Вентиляторы	6

Таблица 1.2 – Ведомость нагрузок цементного завода

№ п/п	Наименование цеха	Число смен	Установленная мощность, кВт
1	Отдел сырьевых мельниц	3	
		3	2500
			6500
2	Печное отделение	3	1500
		3	3050
3	Угольное отделение	3	400
		3	2000
4	Отделение первичного дробления	3	140
5	Отделение вторичного дробления	3	1250

Продолжение таблицы 1.2

6	Компрессор, 10 кВ	3	1400
7	Цех цементных мельниц	3	1400
8	Объединенный склад	3	210
9	Механический	3	-
10	Отделение электрофильтрации	3	2100
11	Канализационно-насосная станция	3	34
12	Насосная	3	1200
13	Ремонтно-механический	3	340
14	Прием угля	3	400

2. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

2.1 Описание технологического процесса

Сырьем для производства цемента является мел, известняк, глина, мергель и другие материалы. Процесс производства цемента заключается в приготовлении однородной сырьевой смеси заданного состава путем дробления и тонкого измельчения, обжига ее до спекания в клинкер, размола клинкера вместе с небольшим количеством гипса и другими добавками.

Различают два основных способа производства цемента – сухой и мокрый. При сухом способе производства дробленые сырьевые материалы высушивают и мелко измельчают, корректируют и усредняют до заданного химического состава и обжигают во вращающихся печах. При мокром способе производства сырьевые материалы после дробления и измельчения перемешивают с водой, получаемый однородный сметанообразный шлам направляют в бассейны, где его корректируют и усредняют до заданного химического состава. Готовый шлам направляют в печь для обжига. Дробят материал (крупного помола) в щековых, валковых и молотковых дробилках, а тонкое измельчение (в порошок) выполняют в шаровых трубчатых мельницах. Сухой способ производства имеет меньший удельный расход электроэнергии на 1 тонну цемента.

Электропривод молотковых, валковых и щековых дробилок осуществляется асинхронными короткозамкнутыми двигателями на напряжение 380 вольт и 10 киловольт. Электропривод шаровых трубчатых мельниц осуществляется через редуктор от низковольтных асинхронных короткозамкнутых двигателей и через синхронные двигатели. Схемы управления электроприводом предусматривают автоматизацию загрузки и работы мельницы с необходимыми системами защиты при блокировке. Сушка сырьевых материалов производится в сушильных барабанах горячим воздухом или дымовыми газами. Вращающаяся печь вспомогательными и регулирующими устройствами является основным агрегатом цементных

заводов, в котором обжигают твердую или шламообразную сырьевую массу для получения клинкера. Сырьевую массу загружают и двигают с верхнего конца печи вниз, а теплоноситель (горячий газ) подают с нижнего конца печи и двигают вверх, навстречу обжигаемому материалу.

В производстве цемента применяют автоматическое управление и регулирование технологических процессов (помола сырья и цемента, обжига клинкера и др.) с помощью электронных и полупроводниковых регуляторов с электромеханическими исполнительными механизмами. В настоящее время общий контроль и управление производственным процессом и всего завода автоматизирован и осуществляется с центрального диспетчерского пункта с помощью электронных вычислительных машин, в том числе и вспомогательных цехов. Предприятие относится к потребителям II категории электропотребления. Обуславливается непрерывностью технологического процесса, остановка, которого понесёт значительный материальный ущерб, связанный с массовым браком продукции.

2.2 Выбор схемы электроснабжения и расчет электрических нагрузок механического цеха

Электроприемники распределяем по ШР с учетом технологического процесса и соответственно их расположения. Произведем расчет электрических нагрузок для питающих ШР.

Правильное определение ожидаемых электрических нагрузок – основа рационального решения всего комплекса технологических вопросов при проектировании электроснабжения предприятия.

Расчет силовых нагрузок цеха производим методом упорядоченных диаграмм [1]. Расчет электрических нагрузок по этому методу производится в следующей последовательности.

Для правильного выбора сечений линий, коммутационных и защитных аппаратов произведем расчет электрических нагрузок ремонтно-механического цеха. Для этого электроприемники цеха разбиваются на две характерные группы:

Группа А: электроприемники с переменным графиком нагрузки, у которых $K_{и} \leq 0,6$;

Группа Б: электроприемники с практически постоянным графиком нагрузки, у которых $K_{и} > 0,6$;

Для каждой группы определяется суммарная номинальная мощность, приведенная к продолжительности включения (ПВ=100%):

$$P_{ном} = \sum_{i=1}^n P_{ном.i},$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность отдельных ЭП.

Для длительного режима работы:

$$P_{пасп} = P_{ном}.$$

Для повторно-кратковременного режима работы:

$$P_{пасп} = P_{ном} \sqrt{ПВ(о.е.)};$$

$$P_{пасп} = S_{ном} \sqrt{ПВ(о.е.)} \cdot \cos\varphi,$$

где ПВ – продолжительность включения;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности электроприемника.

Средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы электроприемников определяется по формуле:

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{н},$$

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

$K_{и}$ – коэффициент использования активной мощности [2].

Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы электроприемников определяется по формуле:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

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

Для определения коэффициента максимума необходимо знать коэффициент использования групповой нагрузки и эффективное число ЭП ($n_э$) – это такое число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое обуславливает ту же величину нагрузки, что и группа различных по номинальной мощности и режиму работы ЭП.

Средневзвешенный коэффициент использования группы определяется по формуле:

$$K_{и.ср} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном}},$$

где $\sum P_{см}$ – суммарная средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену;

$\sum P_{ном}$ – суммарная установленная мощность группы электроприёмников цеха.

По общей формуле $n_э$ определяется как:

$$n_3 = \frac{\left[\sum_1^n P_{\text{НОМ}} \right]^2}{\sum_1^n P_{\text{НОМ}}^2}.$$

где $\left[\sum_1^n P_{\text{НОМ}} \right]^2$ – квадрат суммы номинальных мощностей ЭП группы для которых определяют n_3 ;

$\sum_1^n P_{\text{НОМ}}^2$ – сумма квадратов номинальных мощностей ЭП группы для которых определяют n_3 .

Либо по одному из упрощенных способов, в зависимости от условий. Для начала необходимо вычислить коэффициент m (показатель силовой сборки в группе).

$$m = \frac{P_{\text{НОМ max}}}{P_{\text{НОМ min}}};$$

где $P_{\text{НОМ max}}$ – наибольшая мощность ЭП в группе;

$P_{\text{НОМ min}}$ – наименьшая мощность ЭП в группе.

$$\text{При } m \leq 3 \Rightarrow n_3 = n_{\text{ф}},$$

где m – коэффициент силовой сборки в группе,

$n_{\text{ф}}$ – фактическое число электроприемников.

При этом исключаются те ЭП мощность которых не превышает 5% суммарной мощности всей группы.

При $m > 3, K_n \geq 0,2$, применяется формула:

$$n_3 = \frac{2 \sum P_{\text{НОМ.i}}}{P_{\text{НОМ.max}}},$$

где $\sum P_{\text{НОМ.i}}$ – сумма номинальных мощностей, приведенных к ПВ100%, всех ЭП группы;

$P_{\text{НОМ.max}}$ – мощность самого мощного электроприемника в группе.

При $m > 3, K_{и} < 0,2$ применяется следующий порядок расчета:

1. определяется наибольший по мощности ЭП, рассматриваемой группы.
2. определяются наиболее мощные ЭП, $P_{ном}$ которых равна или больше половины мощности наибольшего ЭП группы.
3. определяется число n_1 и $\Sigma P_{ном.1}$ наибольших по мощности ЭП группы.
4. определяется число n и $\Sigma P_{ном}$ всех ЭП группы.
5. находятся значения: $n_* = \frac{n_1}{n}$ и $P_* = \frac{P_{ном1}}{P_{ном}}$.
6. используя табл.1.4 [2] по n_* и P_* определяется $n_{э*}$.
7. определяем эффективное число электроприёмников по формуле:

$$n_{э*} = \frac{n_э}{n} \Rightarrow n_э = n_{э*} \cdot n.$$

Далее, используя табл.1.8 [2], находим значение коэффициента максимума $K_M = f(n_э, K_{и})$.

Расчетная активная P_M и реактивная Q_M максимальные мощности группы:

$$P_M = K_M \cdot P_{см},$$

где K_M – коэффициент максимума.

$$Q_M = Q_{см} \text{ при } n_э > 10;$$

$$Q_M = 1,1 \cdot Q_{см} \text{ при } n_э \leq 10.$$

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

$$P_M = P_{см}.$$

Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{р.о} = K_{с.о} \cdot P_{н.о} = K_{с.о} \cdot P_{уд.о} \cdot F,$$

где $K_{с.о}$ – принимается по справочнику;

$P_{уд.о}$ – удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м² (принимается по справочнику) [3];

F – площадь цеха, м² (определяется по генплану).

Полная расчётная нагрузка цеха определяется:

$$S_p = \sqrt{(P_M)^2 + (Q_M)^2}.$$

Расчётный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}.$$

Справочные данные для электроприемников цеха, принятые согласно табл. П.2.1[1], представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Справочные данные для ЭП механического цеха

Номер на плане цеха	Наименование ЭП	Коэффициент использования $K_{и}$	Коэффициент реактивной мощности $\cos\phi$
1-3	Вертикально-фрезерный станок	0,14	0,5
4-5	Фрезерный станок с ЧПУ	0,22	0,65
6,7	Универсально-фрезерный станок	0,14	0,5
8-11	Токарно-револьверный станок	0,17	0,65
12,13	Токарно-винторезный станок	0,16	0,6
14-21	Настольно-сверлильный станок	0,14	0,5
22-24	Резьбонарезной полуавтомат	0,16	0,6
25,26	Заточной станок	0,16	0,6
27	Листозагибочная машина	0,13	0,5
28-31	Точильно-шлифовальный станок	0,14	0,5
32-34	Вертикально-сверлильный станок	0,14	0,5

Продолжение таблицы 2.1

35,36	Радиально-сверлильный станок	0,14	0,5
37,38	Универсально-заточной станок	0,16	0,6
39	Плоскошлифовальный станок	0,45	0,6
40,41	Полировальный станок	0,45	0,6
42	Сварочная машина	0,35	0,7
43-48	Сварочная кабина	0,35	0,7
49,50	Вентиляторы	0,8	0,8



Рисунок 2.1 – Схема питания механического цеха

Таблица 2.2 – Расчет электрических нагрузок цеха методом упорядоченных диаграмм

№ на плане	ЭП	Количество ЭП, п	Установленная мощность		K_n	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		n_s	K_M	Расчетная нагрузка			$I_p = S_p / \sqrt{3} \cdot U_{лн}, A$	I_p
			P_n , кВт	ΣP_n , кВт				$P_{см} = K_n \cdot \Sigma P_n$, кВт	$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi$, кВтАр			$P_p = P_{см} \cdot K_M$, кВт	$Q_p = Q_{см} \cdot K_M$, кВтАр	S_p , кВА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ШР1																
ЭП группы А, $K_n < 0,6$																
43-48	Сварочная кабина	6	9	54	0,35	0,70	1,02	18,90	19,28							
42	Сварочная машина	1	7	7	0,35	0,70	1,02	2,45	2,50							
		7		61	0,35			21,35	21,78	7	1,69	36,081	23,959	43,312	65,805	195,71
ШР2																
ЭП группы А, $K_n < 0,6$																
37,38	Универсально-заточной станок	2	7	14	0,16	0,60	1,33	2,24	2,99							
39	Плоскошлифовальный станок	1	13	13	0,45	0,60	1,33	5,85	7,80							
40,41	Полировальный станок	2	10	20	0,45	0,60	1,33	9,00	12,00							
		5		47				17,09	22,79	5	1,856	31,719	25,065	40,427	61,423	277,04
ШР3																
ЭП группы А, $K_n < 0,6$																
14- 21	Настольно-сверлильный станок	8	2,20	17,60	0,14	0,50	1,73	2,46	4,27							

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
22-24	Резьбонарезной полуавтомат	3	3	9	0,16	0,60	1,33	1,44	1,92							
25, 26	Заточной станок	2	9	18	0,16	0,60	1,33	2,88	3,84							
27	Листозагибочная машина	1	19	19	0,13	0,50	1,73	2,47	4,28							
28- 31	Точильно-шлифовальный станок	4	5	20	0,14	0,50	1,73	2,80	4,85							
32- 34	Вертикально-сверлильный станок	3	9	27	0,14	0,50	1,73	3,78	6,55							
35, 36	Радиально-сверлильный станок	2	6	12	0,14	0,50	1,73	1,68	2,91							
		23		122,6	0,14			17,51	28,61	15	1,85	32,4	31,474	45,17	68,63	465,27
ШР4																
ЭП группы А, $K_n < 0,6$																
1- 3	Вертикально-фрезерный станок	3	10	30	0,14	0,50	1,73	4,20	7,27							
4, 5	Фрезерный станок с ЧПУ	2	17	34	0,22	0,65	1,17	7,48	8,75							
6, 7	Универсально-фрезерный станок	2	12	24	0,14	0,50	1,73	3,36	5,82							
8- 11	Токарно-револьверный станок	4	4	16	0,17	0,65	1,17	2,72	3,18							
12, 13	Токарно-винторезный станок	2	17	34	0,16	0,60	1,33	5,44	7,25							
		13		138	0,17			23,20	32,27	11	1,976	45,84	35,5			

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ЭП группы Б, $K_n \geq 0,6$																
49, 50	Вентиляторы	2	6	12	0,80	0,80	0,75	12	9			12	9			
												57,84	44,50	72,98	110,88	405,33
	Освещение		2,55	0,95								2,43				
Потребляемая мощность цехом:												160,47	125,00	203,41	309,05	

Пример расчета электрических нагрузок цеха

Электроприемники ШР1 группы «А».

Найдем среднюю активную нагрузку за наиболее загруженную смену:

Сварочная кабина:

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot \sum P_{\text{н}} = 0,35 \cdot 54 = 18,9 \text{ кВт.}$$

Сварочная машина:

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot \sum P_{\text{н}} = 0,35 \cdot 7 = 2,45 \text{ кВт.}$$

Суммарная активная нагрузка группы «А»:

$$P_{\text{см} \sum A} = \sum_{i=1}^n P_{\text{см}i} = 18,9 + 2,45 = 21,35 \text{ кВт.}$$

Найдем среднюю реактивную нагрузку за наиболее загруженную смену:

Сварочная кабина:

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 18,9 \cdot 1,02 = 19,28 \text{ кВАр.}$$

Сварочная машина:

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 2,45 \cdot 1,02 = 2,5 \text{ кВАр.}$$

Суммарная реактивная нагрузка группы «А»

$$Q_{\text{см} \sum A} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{см}i} = 19,2 + 2,5 = 21,78 \text{ кВАр.}$$

Найдем средневзвешенное значение коэффициента использования по формуле:

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{P_{\text{см} \sum A}}{P_{\text{ном} \sum A}}.$$

где $P_{\text{ном} \sum A}$ – суммарная номинальная мощность всех ЭП группы «А».

$$P_{\text{ном} \sum A} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i} \cdot n_i = 9 \cdot 6 + 7 \cdot 1 = 61 \text{ кВт;}$$

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{P_{\text{см} \sum A}}{P_{\text{ном} \sum A}} = \frac{21,35}{61} = 0,35.$$

Найдем эффективное число электроприёмников $n_{\text{э}}$. Но для начала необходимо вычислить коэффициент m (показатель силовой сборки в группе).

$$m = \frac{P_{\text{ном max}}}{P_{\text{ном min}}},$$

где $P_{\text{ном max}}$ – наибольшая мощность ЭП;

$P_{\text{ном min}}$ – наименьшая мощность ЭП.

$$m = \frac{P_{\text{ном max}}}{P_{\text{ном min}}} = \frac{9}{7} = 1,29 < 3.$$

Далее, используя табл. 1.8 [2], находим значение коэффициента максимума $K_M = f(n_{\text{э}}, K_{\text{и}}) = 1,69$.

1. Найдем расчетные активную, реактивную и полную мощности группы «А».

Расчетная активная мощность группы «А»:

$$P_p = K_M \cdot P_{\text{см} \sum A} = 1,69 \cdot 21,35 = 36,08 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная мощность группы «А»:

$$Q_p = K'_M \cdot Q_{\text{см} \sum A} = 1,1 \cdot 21,78 = 23,96 \text{ кВАр.}$$

Рассчитаем пиковый ток для ШР1:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{нмакс}} \cdot K + (I_{\text{нШР1}} - I_{\text{нмакс}} \cdot K_{\text{и}}),$$

где

$$I_{\text{нШР1}} = \frac{S_{\text{рШР1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{\sqrt{36,08^2 + 23,96^2}}{\sqrt{3} \cdot 380} = 65,81 \text{ А};$$

$$I_{\text{нмакс}} = \frac{S_{43}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{P_{43}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi} = \frac{9000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,7} = 19,53 \text{ А};$$

$$I_{\text{пик}} = 19,53 \cdot 7 + (65,81 - 19,53 \cdot 0,35) = 195,71 \text{ А.}$$

Все результаты сводим таблицу 2.2.

2.3 Определение осветительной нагрузки механического цеха

Рассчитаем площадь цеха:

$$F = a \cdot b = 16,84 \cdot 12,63 = 212,74 \text{ м}^2.$$

Для ремонтно-механического цеха: $P_{\text{уд.п.}} = 12 \text{ Вт/м}^2$. – (механические и сборочные цеха) удельная плотность осветительной нагрузки.[2]

Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{\text{р.о}} = K_{\text{с.о}} \cdot P_{\text{н.о}} = K_{\text{с.о}} \cdot P_{\text{уд.п.}} \cdot F (\text{кВт}).$$

Номинальная активная мощность:

$$P_{\text{н.о}} = P_{\text{уд.п.}} \cdot F = 0,012 \cdot 212,74 = 2,55 \text{ кВт}.$$

Коэффициент спроса осветительной нагрузки для производственных зданий, состоящих из одного помещения: $K_{\text{с.о}} = 0,95$

$$P_{\text{р.о}} = K_{\text{с.о}} \cdot P_{\text{н.о}} = 0,95 \cdot 2,55 = 2,43 \text{ кВт}.$$

Полная расчетная нагрузка цеха (с учетом освещения):

$$S_{\text{р}\Sigma} = \sqrt{(P_{\text{р}} + P_{\text{р.о}})^2 + (Q_{\text{р}})^2} = \sqrt{(155,64^2 + 2,43^2) + (123,22)^2} = 200,85 \text{ кВА}.$$

2.4 Определение расчетной нагрузки каждого цеха и всего предприятия с учетом осветительной нагрузки

Расчет будет производиться на примере отдела сырьевых мельниц 0,38 кВ.

Определение расчетной активной и реактивной нагрузки каждого цеха предприятия определяются следующим образом:

$$P_p = K_c \cdot P_n = 0,5 \cdot 2500 = 1250 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 1250 \cdot 0,75 = 937,5 \text{ кВАр},$$

где P_n - суммарная установленная мощность всех приемников цеха;

K_c - коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным;

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

Расчетная осветительная нагрузка $P_{p.o.}$ определяется по формуле:

$$P_{p.o.} = P_{n.o.} \cdot K_{c.o.} = 8,86 \cdot 0,95 = 8,42 \text{ кВт},$$

где $P_{n.o.}$ - номинальная мощность осветительной нагрузки;

$K_{c.o.}$ - коэффициент спроса осветительной нагрузки, принимаемый по справочным данным.

Номинальная мощность осветительной нагрузки определяется согласно следующему выражению:

$$P_{n.o.} = P_{уд.o.} \cdot F = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 886,43 = 8,86 \text{ кВт},$$

где $P_{уд.o.}$ - удельная нагрузка на 1 м² площади цеха;

F - площадь цеха, м².

Тогда полная расчетная нагрузка цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o.})^2 + (Q_p + Q_{p.o.})^2} = \sqrt{(1250 + 8,42)^2 + (937,5)^2} = 1569,24 \text{ кВА}.$$

Результаты расчетов по определению расчетной нагрузки остальных цехов предприятия приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Расчет электрических нагрузок предприятия

№	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка					Силовая+Осветительная нагрузка		
	P _H	K _C	cosφ	tgφ	P _P	Q _P	F	P _{уд}	P _{н.о.}	K _{с.о.}	P _{р.о.}	P _{р.о.+ P_P}	Q _P	S _P
	кВт				кВт	кВар	м ²	Вт/м ²	кВт		кВт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2500	0,5	0,8	0,75	1250,00	937,50	886,43	10	8,86	0,95	8,42	1258,42	937,5	1569,24
2	1500	0,4	0,8	0,75	600,00	450,00	614,96	13	7,99	0,95	7,59	607,59	450	756,09
3	400	0,4	0,8	0,75	160,00	120,00	631,58	13	8,21	0,95	7,80	167,80	120	206,29
4	140	0,5	0,8	0,75	70,00	52,50	226,04	10	2,26	0,95	2,15	72,15	52,5	89,23
5	1250	0,5	0,8	0,75	625,00	468,75	226,04	10	2,26	0,95	2,15	627,15	468,75	782,97
6	1400	0,5	0,8	0,75	700,00	525,00	221,61	10	2,22	0,95	2,11	702,11	525	876,69
7	1400	0,5	0,8	0,75	700,00	525,00	414,40	10	4,14	0,95	3,94	703,94	525	878,15
8	210	0,25	0,8	0,75	52,50	39,38	3071,47	11	33,79	0,95	32,10	84,60	39,375	93,31
9	-	-	-	-	158,04	125,00	212,74	12	2,55	0,95	2,43	160,47	125,00	203,41
10	2100	0,4	0,75	0,88	840,00	740,81	614,96	10	6,15	0,95	5,84	845,84	739,2	1123,33
11	34	0,5	0,8	0,75	17,00	12,75	252,63	10	2,53	0,95	2,40	19,40	12,75	23,21
12	1200	0,5	0,8	0,75	600,00	450,00	207,20	10	2,07	0,95	1,97	601,97	450	751,58
13	340	0,35	0,70	1,02	119,00	121,40	489,75	11	5,39	0,95	5,12	124,12	121,38	173,60

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14	400	0,2	0,60	1,33	80,00	106,67	331,30	0,16	0,05	1,00	0,05	80,05	106,4	133,15
Освещение территории							34703,6	0,16	5,55	1,00	5,55	5,55	0	5,55
Итого по 0,38 кВ					5971,54	4674,7	Fц=8401		94,03		89,61	6061,15	4672,9	7663,2
1	6500	0,5	0,8	0,75	3250	2437,5						3250	2437,5	4062,5
2	3050	0,4	0,8	0,75	1220	915						1220	915	1525
3	2040	0,4	0,8	0,75	800	600						800	600	1000
Итого по 10,5 кВ					5270	3952,5						5270	3952,5	6587,5
Итого по заводу:														

На данном этапе можно приближенно определить потери мощности в трансформаторах цеховых ТП и высоковольтной сети как:

$$\Delta P_{\tau} = 0,02 \cdot S_p'' = 0,02 \cdot 7663,24 = 153,27 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\tau} = 0,1 \cdot S_p'' = 0,1 \cdot 7663,24 = 766,32 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P_{\text{л}} = 0,03 \cdot S_p'' = 0,03 \cdot 7663,24 = 229,89 \text{ кВт}.$$

Тогда значение полной мощности на шине 10 кВ ГПП:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_{p\Sigma})^2 + (Q_{p\Sigma})^2} = \sqrt{11150^2 + 8530^2} = 14040 \text{ кВА},$$

где суммарные расчетные активная и реактивная мощности, отнесенные к шинам 10 кВ ГПП, определяются из выражений:

$$\begin{aligned} P_{p\Sigma} &= \Sigma P_p \cdot K_{\text{р.м.(а)}} + P_{\text{р.о.}} + \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\tau} = \\ &= (5969,14 + 5270) \cdot 0,95 + 89,61 + 229,89 + 153,27 = 11150 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$Q_{p\Sigma} = \Sigma Q_p \cdot K_{\text{р.м.(р)}} + \Delta Q_{\tau} = (4673,7 + 3952,5) \cdot 0,9 + 766,32 = 8530 \text{ кВАр}.$$

где $K_{\text{р.м.}}$ - коэффициент одновременности максимумов нагрузки отдельных групп электроприемников, принимаемый в пределах 0,9-0,95;

$K_{\text{р.м.(а)}} = 0,95$ - коэффициент одновременности максимумов нагрузок для активной мощности;

$K_{\text{р.м.(р)}} = 0,9$ - коэффициент одновременности максимумов нагрузок для реактивной мощности.

Полная расчетная мощность предприятия со стороны ВН трансформаторов ГПП определяется по формуле:

$$S_{\text{р.ГПП}} = \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{\tau})^2 + (Q_{\text{т}\Sigma} + \Delta Q_{\tau} - Q_{\text{ку}})^2}.$$

Потери мощности в трансформаторах ГПП определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{т.ГПП}} = 0,02 \cdot S_{\text{р}\Sigma} = 0,02 \cdot 14040 = 280,8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{т.ГПП}} = 0,1 \cdot S_{\text{р}\Sigma} = 0,1 \cdot 14040 = 1404 \text{ кВАр}.$$

Из сети энергосистемы в режиме наибольших активных нагрузок для 110 кВ :

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,29 \cdot 11150 = 3233 \text{ кВар},$$

где $\alpha = 0,29$ для величины напряжения питающей сети 110 кВ;

$P_{p\Sigma}$ - суммарная нагрузка с учетом потерь мощности в трансформаторах и линиях ВН и коэффициентов разновременности максимумов нагрузки.

Мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{ку} = Q_{p\Sigma} - Q_c = 8530 - 3233 = 5297 \text{ кВар}.$$

Выбираем 13шт УКМ-10,5-400У1:

$$Q_{ку}^* = 13 \cdot 400 = 5200 \text{ кВар}$$

Следовательно:

$$S_{p,ГПП} = \sqrt{(11150 + 280,8)^2 + (8530 + 1404 - 5200)^2} = 12372,3 \text{ кВА}.$$

2.5 Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Как правило, ГПП рекомендуется устанавливать в центре электрических нагрузок предприятия, это является наиболее оптимальным решением в экономическом плане.

Картограмма нагрузок представляет собой размещённые на генплане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определённом масштабе соответствуют расчётным нагрузкам цехов [1].

На генплан завода произвольно наносятся оси координат и определяются значения x_i и y_i для каждого цеха. Координаты центра электрических нагрузок предприятия x_0 и y_0 определяются по следующим формулам:

$$x_0 = \frac{\sum P_{Pi} \cdot x_i}{\sum P_{Pi}};$$
$$y_0 = \frac{\sum P_{Pi} \cdot y_i}{\sum P_{Pi}},$$

где x_i и y_i - координаты центра электрической нагрузки i -того цеха;

P_{Pi} - расчетная активная мощность i -ого цеха с учетом осветительной нагрузки, кВт.

Радиусы окружностей для каждого цеха определяем из выражения:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m}},$$

где P_{Pi} - расчетная активная мощность i -ого цеха с учетом освещения, кВт;

m - масштаб для определения площади круга, кВА/мм² (постоянный для всех цехов предприятия).

Можно принять, что нагрузка распределена по цеху равномерно, поэтому центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане. Осветительную нагрузку наносим в виде сектора круга, изображающего

нагрузку до 1000 В. Угол сектора (α) определяем из соотношения полных расчётных (P_{pi}) и осветительных нагрузок ($P_{p.o.}$) цехов [1]:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o.}}{P_{pi}}$$

Расчетные данные для построения картограммы нагрузок сведены в таблицу 2.4 и 2.5.

Таблица 2.4 – Данные для построения картограммы нагрузок

№ цеха по генплану	P_{pi} , кВт	$P_{p.o.}$, кВт	r, мм	a, град	x_i , м	y_i , м	$P_{pi}x_i$	$P_{pi}y_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Потребители 0,4 кВ								
1	1258,42	8,42	14,15	2,41	124,6	28,1	156799,1	35361,6
2	607,59	7,59	9,83	4,49	143,9	110,8	87432,2	67320,97
3	167,80	7,80	5,16	16,73	184,3	110,8	30925,54	18592,24
4	72,15	2,15	3,38	10,72	13,6	49,2	981,24	3549,78
5	627,15	2,15	9,99	1,23	13,6	67,6	8529,24	42395,34
6	702,11	2,11	10,57	1,08	268,5	24,1	188516,5	16920,85
7	703,94	3,94	10,58	2,01	207,8	32,9	146278,7	23159,63
8	84,60	32,10	3,67	136,59	174,5	50,3	14762,7	4255,38
9	158,07	2,43	5,01	5,53	237,5	67,9	37541,63	10732,95
10	845,84	5,84	11,60	2,48	103,9	110,8	87882,78	93719,07
11	19,40	2,40	1,75	44,53	274,4	96,3	5323,36	1868,22

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	601,97	1,97	9,79	1,17	235,6	115,2	141824,1	69346,94
13	124,12	5,12	4,44	14,85	274,1	58,9	34021,29	7310,66
14	80,05	0,05	3,57	0,22	38,1	111,6	3049,90	8933,58
	Потребители 10 кВ							
1	3250	-	22,74	-	124,6	28,1	404950	91325
2	1220	-	13,93	-	143,9	110,8	175558	135176
3	800	-	11,28	-	184,3	110,8	147440	88640
Итого:	11323,21						1671816	718608,2

Цех (№1):

Радиус окружности:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{p1} + P_{p.o.1}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1258,42}{\pi \cdot 2}} = 14,15 \text{ мм.}$$

Угол сектора осветительной нагрузки:

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o.}}{P_{p1} + P_{p.o.1}} = \frac{360^\circ \cdot 8,42}{1258,42} = 2,41 \text{ град.}$$

Координаты центра электрических нагрузок предприятия:

$$x_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot x_i}{\sum P_{pi}} = \frac{1671816}{11323,21} = 148,21 \text{ м;}$$

$$y_0 = \frac{\sum P_{pi} \cdot y_i}{\sum P_{pi}} = \frac{718608,2}{11323,21} = 63,7 \text{ м.}$$

ЦЭН следует рассматривать, как условный центр, т.к. его положение обусловлено постоянным изменением технологического процесса. Поэтому необходимо определять зону рассеяния центра электрических нагрузок.

Дисперсия случайных координат:

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n P_i \cdot (x_i - x_0)^2} = \sqrt{3566,2} = 59,71;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n P_i \cdot (y_i - y_0)^2} = \sqrt{1545,4} = 39,3.$$

Мера мощности случайной величины:

$$h_x = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma_x} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 59,71} = 0,0118; h_y = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sigma_y} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 39,3} = 0,018.$$

Определение полуоси эллипса:

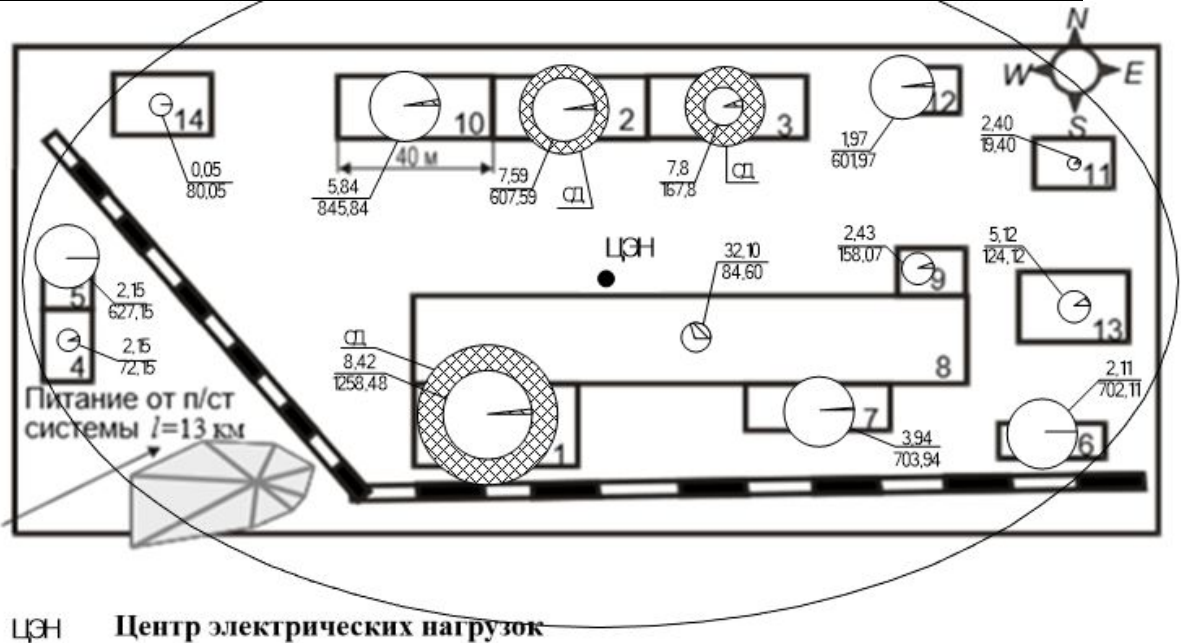
$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0118} = 146,3 \text{ (м)}; R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,018} = 96,3 \text{ (м)}.$$

Таблица 2.5 – Данные для построения картограммы нагрузок

№	x _i , м	y _i , м	P _i	x _i - x ₀ , м	y _i -y ₀ , м	P _{Pxi} (x _i - x ₀) ² , м	P _{Pyi} (y _i - y ₀) ² , м
1	2	3	4	5	6	7	8
Потребители 0,4 кВ							
1	124,6	28,1	0,111860	-23,61	-35,6	62,35451	141,7672
2	143,9	110,8	0,054319	-4,31	47,1	1,009046	120,5031
3	184,3	110,8	0,015505	36,09	47,1	20,1954	34,39699
4	13,6	49,2	0,006560	-134,61	-14,5	118,8769	1,379364
5	13,6	67,6	0,055566	-134,61	3,9	1006,854	0,845164
6	268,5	24,1	0,062181	120,29	-39,6	899,7493	97,51083
7	207,8	32,9	0,062504	59,59	-30,8	221,9528	59,29461
8	174,5	50,3	0,010304	26,29	-13,4	7,122069	1,850268
9	237,5	67,9	0,014171	89,29	4,2	112,9886	0,249993

Продолжение таблицы 2.5

10	103,9	110,8	0,000441	-142,21	-56,7	8,928621	1,419352
11	274,4	96,3	0,053327	87,39	51,5	407,2597	141,4368
12	235,6	115,2	0,011411	125,89	-4,8	180,8563	0,262926
13	274,1	58,9	0,007072	-110,11	47,9	85,75119	16,22773
14	38,1	111,6	0,000441	-142,21	-56,7	8,928621	1,419352
Потребители 10 кВ							
1	124,6	28,1	0,28697	-23,61	-35,6	159,9667	363,6951
2	143,9	110,8	0,107724	-4,31	47,1	2,001099	238,9768
3	184,3	110,8	0,070638	36,09	47,1	92,00636	156,7061
						3566,2	1545,4



- ЦЭН Центр электрических нагрузок
- Электрическая нагрузка до 1000В
- $\frac{2,15}{72,15}$ Освещение, кВт
- $\frac{2,15}{72,15}$ Суммарная активная нагрузка, кВт

Рисунок 2.2 – Генплан завода с картограммой нагрузок

2.6 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

При установке на крупных промышленных предприятиях группы цеховых трансформаторов их номинальная мощность определяется плотностью нагрузки и выбирается, как правило, одинаковой для всей группы.

Удельная плотность нагрузки для заданного предприятия:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}} = \frac{7663,24}{8401} = 0,9.$$

где S_p - суммарная мощность предприятия;

$F_{ц}$ - суммарная площадь цехов, м².

Для данной плотности нагрузки намечаем использование трансформаторов мощностью 2500 кВА.

Минимальное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{\min} = \frac{P_{\text{расч.нп}}}{\beta_T \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{6058,76}{0,7 \cdot 2500} = 3,5 \approx 4$$

где $P_{\text{расч.нп}}$ - суммарная расчетная нагрузка с учетом освещения, подведенная к трансформаторам, МВт;

$\beta_T = 0,7 - 0,8$ коэффициент загрузки для потребителей II категории;

$S_{\text{тр}}$ - номинальная мощность одного трансформатора, МВА.

Согласно [2] для второй категории потребителей необходима установка двухтрансформаторных подстанций. В предварительном выборе трансформаторов расчёт коэффициента загрузки производим по активной мощности.

Активная нагрузка, приходящаяся на 1 трансформатор:

$$P_1 = \frac{P_{\text{расч.нп}}}{N_{\min}} = \frac{6058,76}{4} = 1515 \text{ кВт.}$$

Таблица 2.6 – Число трансформаторов в цехе

Наименование	Суммарная расчетная нагрузка с учетом освещения, кВт	Минимальное число трансформаторов
1	2	3
1. Отдел сырьевых мельниц	1258,42	0,83
2. Печное отделение	607,59	0,40
3. Угольное отделение	167,80	0,11
4. Отделение первичного дробления	72,15	0,05
5. Отделение вторичного дробления	627,15	0,41
6. Компрессор	702,11	0,46
7. Цех цементных мельниц	703,94	0,46
8. Объединенный склад	84,60	0,05
9. Механический	160,47	0,10
10. Отделение электрофльтрации	845,84	0,55
11. Канализационно-насосная станция	19,40	0,01
12. Насосная	601,97	0,39
13. Ремонтно-механический	124,12	0,08
14. Прием угля	80,05	0,05

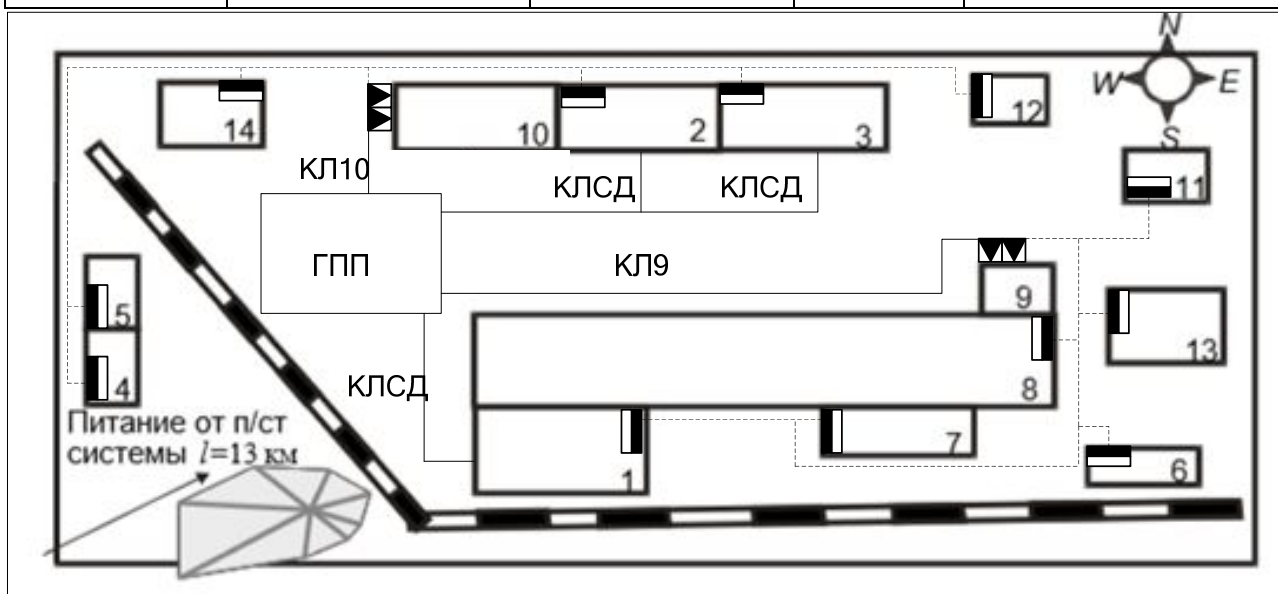
Устанавливаем КТП в 9 и 10 цехах. Выбираем трансформаторы двухобмоточные масляные типа ТМ-2500/10/0,4 [3].

Таблица 2.7 – Параметры трансформаторов цеховых КТП

Тип	$S_{\text{ном}}$, кВА	$U_{\text{ном}}$, кВ		$U_{\text{к}}$, %	$P_{\text{кз}}$, кВт	$P_{\text{хх}}$, кВт	$I_{\text{х}}$, %	Схема и группа соединения обмоток
		ВН	НН					
ТМ-2500/10-У1	1000	10	0,4	6,0	26,3	3,35	0,8	Δ - Y_0 -11

Таблица 2.8 – Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

Наименование пункта питания	Потребители электроэнергии	Место расположения пункта питания на генплане	Р _р , кВт	Кол-во и мощность трансформаторов
КТП-9	Цех 9,8,7,1,6,13,11	Цех 9	3050,66	2х2500 кВА
КТП-10	Цех 4,5,14,10,2,3,12	Цех 10	3002,55	2х2500 кВА








-  Главная понизительная подстанция
-  Цеховая трансформаторная подстанция
-  Распределительное устройство 0,4 кВ
-  — Распределительная сеть выше 1000 В
-  - - - Распределительная сеть до 1000 В

Рисунок 2.3 – Генплан завода с цеховыми трансформаторными подстанциями

2.7 Схема внешнего электроснабжения предприятия

Выбор напряжения питающих и распределительных сетей зависит от мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, напряжения источника питания, количества и единичной мощности ЭП.

Экономически целесообразное напряжение питающей линии ГПП можно оценить по формуле Илларионова:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{13} + \frac{2500}{11,15}}} = 61,7 \text{ кВ},$$

где L - расстояние от источника питания, км;

P - передаваемая мощность, равная расчетной нагрузке предприятия, МВт.

Принимаем напряжение питающей линии ГПП $U = 110$ кВ.

Согласно всем требованиям, предъявляемым к схемам ГПП, на стороне ВН ГПП (110 кВ) принимаем схему 4Н - два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий, а на НН ГПП (10 кВ) схему обходную систему шин, секционированную вакуумным выключателем с устройством АВР [6].

Электроснабжение завода осуществляется от подстанции энергосистемы по двум ВЛЭП напряжением 110 кВ. ГПП размещается на территории предприятия в соответствии с расчетным центром электрических нагрузок.

Мощность трансформаторов на ГПП определяем по формуле:

$$S_{\text{н.тр.}} = \frac{S_{\text{р.гпп}}}{N_{\text{тр}} \cdot \beta_{\text{тр}}},$$

где $S_{\text{р.гпп}}$ - полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП;

$\beta_{\text{тр}} = 0,7$ - коэффициент загрузки трансформаторов ГПП.

$$S_{н.тр.} = \frac{S_{р.гпп}}{N_{тр} \cdot \beta_{тр}} = \frac{12372,3}{2 \cdot 0,7} = 8837 \text{ кВА.}$$

Полученное значение $S_{н.тр.}$ округляем до ближайшего большего типа ТДН – 10000-115/11 [7]. Паспортные данные трансформатора представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 - Паспортные данные трансформатора ТМН – 6300-35/10

Тип трансформатора	$S_{ном}$, кВА	$U_{ном}$ обмоток, кВ	U_k , %	$P_{кз}$, кВт	$P_{хх}$, кВт	I_x , %	Группа соединения обмоток
ТДН – 10000/110	10000	155/11	10,5	60	14	0,7	Y-Δ-11

С учетом того, что в нормальном режиме коэффициент загрузки трансформаторов ГПП для электроснабжения предприятия II категории принимается равным 0,7, в послеаварийном режиме любой из трансформаторов с учетом допустимой перегрузки (до 40 %) должен обеспечить полностью необходимую мощность предприятия.

Проверяем трансформаторы ГПП на условие работы в послеаварийном режиме следующим образом:

$$S_{р.гпп} = 12372 \text{ кВА} < 1,4 \cdot S_{н.тр.} = 1,4 \cdot 10000 = 14000 \text{ кВА.}$$

Условие выполнено.

Питающие линии выполняются проводом АС. Выбор сечения провода производим по нагреву расчетным током.

Расчетный ток, приходящийся на одну линию в нормальном режиме:

$$I_p = \frac{S_{рГПП}}{2\sqrt{3}U_H}.$$

В аварийном режиме:

$$I_{ав} = \frac{S_{рГПП}}{2\sqrt{3}U_H}.$$

Тогда:

$$I_p = \frac{12372}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 32,46 \text{ А};$$

$$I_{ав} = \frac{12372}{\sqrt{3} \cdot 110} = 64,92 \text{ А}.$$

Выбираем провод АС-70/11 с допустимым током 265 А. Меньше сечение недопустимо согласно условию механической прочности.

Выбранное сечение необходимо проверить по следующим условиям:

- По допустимой токовой нагрузке и по перегрузочной способности (в послеаварийном и ремонтном режиме при отключении одной из питающих линий).

$$I_{расч} \leq I_{доп};$$

$$1,3 \cdot I_{доп} \geq I_{р.мах},$$

где 1,3 – коэффициент допустимой перегрузки линии.

$$32,38 \text{ А} < 265 \text{ А};$$

$$1,3 \cdot 265 = 344,5 \text{ А} > 64,92 \text{ А}.$$

- По условиям механической прочности:

Согласно ПУЭ и условию механической плотности на воздушных линиях в 110 кВ и выше могут применяться сталеалюминевые провода сечением не менее 70 мм².

$$F_{расч} = 70 \text{ мм}^2 > F_{мин} = 70 \text{ мм}^2.$$

- По допустимой потере напряжения:

$$L_{доп} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{доп\%} \cdot k_3 \geq L,$$

где $l_{\Delta U 1\%}$ - длина линии при полной нагрузке на 1 % потери напряжения, км;

$\Delta U_{доп\%}$ - допустимая потеря напряжения, % ($\Delta U_{доп\%} = 5\%$, $\Delta U_{доп.ав\%} = 10\%$);

$k_3 = \frac{I_{доп}}{I_p}$ - коэффициент, обратный коэффициенту загрузки линии;

$L_{доп}$ - допустимая длина линии, км;

L - фактическая длина линии, км.

Принимаем $l_{\Delta U 1\%} = 5,1$ км [1].

Нормальный режим:

$$L_{\text{доп}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3 = 5,1 \cdot 5 \cdot \frac{265}{32,46} = 208,69 \text{ км.}$$

Послеаварийный режим:

$$L_{\text{доп}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3 = 5,1 \cdot 10 \cdot \frac{175}{64,92} = 208,69 \text{ км.}$$

В обоих случаях $L_{\text{доп}} = 208,69 \text{ км} > L = 13 \text{ км}$, следовательно, условие выполняется.

- По условиям коронирования проводов ВЛЭП напряжением 110 кВ не проверяются.

Таким образом, оставляем намеченное сечение проводами марки АС – 70/11 на металлических двухцепных опорах для электроснабжения цементного завода от подстанции энергосистемы напряжением 110 кВ. На ГПП устанавливаются два трансформатора типа ТДН – 10000-110/10.

2.8 Схема внутривозводской распределительной сети 10 кВ

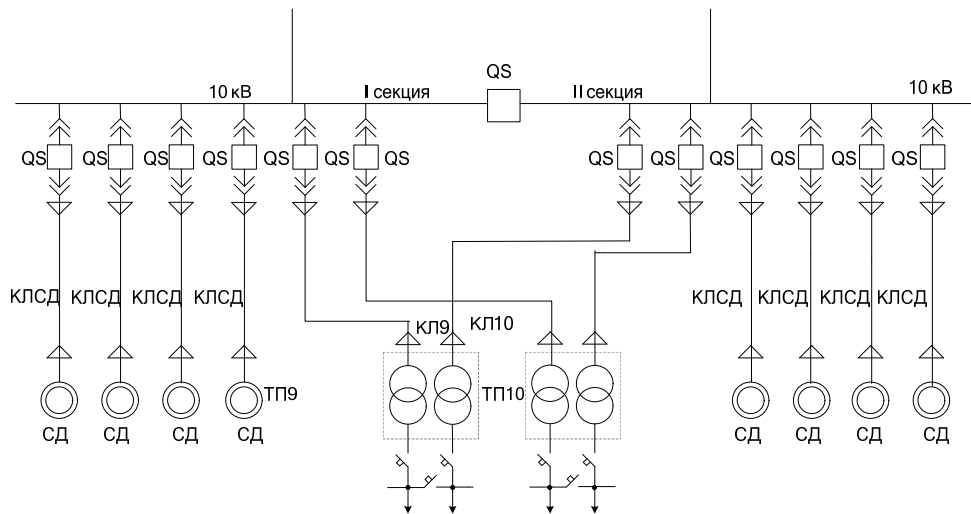


Рисунок 2.4 – Однолинейная схема внутривозводской распределительной сети

Сечения жил кабелей в сетях выше 1000 В выбираются по экономической плотности тока:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}},$$

где I_p – расчетный ток, А;

$j_{\text{эк}}$ - нормированная плотность тока, А/мм² [10]. Полученное значение округляется до ближайшего стандартного, для которого по табл. 1.3.4 – 1.3.22 ПУЭ определяется допустимый длительный ток.

Намечаем прокладку кабельных линий кабелями с бумажной изоляцией. Ниже приведен пример выбора и проверки сечения для линии КЛ9, питающей КТП-9 от шин ГПП.

Расчетный ток КЛ9:

$$I_p = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{н.тр}}}{n_{\text{лин}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 2500}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 144,34 \text{ А},$$

где $n_{\text{лин}}$ - число питающих линий.

Экономическое сечение:

$$F_{\text{эк}} = \frac{144,34}{1,2} = 120,28 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее стандартное сечение $S = 120 \text{ мм}^2$, $I_{\text{доп}} = 310 \text{ А}$.

Выбранные сечения должны быть проверены по следующим условиям:

1) По нагреву максимальным рабочим током и током послеаварийного режима.

Длительно допустимый ток кабеля $I_{\text{доп}}$, соответствующий выбранному по нормированной плотности сечению, должен обеспечить по тепловому нагреву прохождение по линии максимального расчетного тока по выражению:

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2},$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, учитывающие влияние температур окружающей среды и влияние рядом проложенных кабельных линий, соответственно [9].

Согласно нашим условиям $K_1 = 1, K_2 = 1$.

Тогда

$$I_{\text{доп}} = 310 \text{ А} \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2} = \frac{144,34}{1 \cdot 0,9} = 160,38 \text{ А}.$$

Условие выполнено.

Сечение жил линий, которые могут работать в послеаварийных режимах с перегрузкой, выбирают по условию:

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = \frac{I_{\text{п.а}}}{K_1 \cdot K_2},$$

где $I_{\text{п.а}}$ - расчетный ток линии в послеаварийном режиме;

$K_{\text{пер}}$ - кратность перегрузки, для нашего случая $K_{\text{пер}} = 1,2$.

Ток линии в послеаварийном режиме равняется двойному току нормального режима.

Тогда

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,2 \cdot 310 = 372 \text{ А} \geq \frac{I_{\text{п.а}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{2 \cdot 144,34}{1 \cdot 0,9} = 320,76 \text{ А}.$$

Условие выполнено.

Предварительно намечаем кабель марки ААШв – 3х120, способ прокладки кабеля в траншее.

Линия ГПП-СД:

$$I_p = \frac{P_{\text{ном.сд}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,96 \cdot 0,9} = 106,92 \text{ А.}$$

Экономическое сечение:

$$F_{\text{эк}} = \frac{106,92}{1,2} = 89,1 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее стандартное сечение $S = 95 \text{ мм}^2$, $I_{\text{доп}} = 205 \text{ А}$.

Проверку по тепловому режиму с учетом поправочных коэффициентов на условия прокладки проводим аналогичным образом.

Послеаварийного режима нет, проверка не нужна.

2) По нагреву от кратковременного выделения тепла током КЗ – фактор термической стойкости.

Проверка проводников на термическую стойкость при КЗ заключается в определении их температуры нагрева к моменту отключения КЗ и сравнении этой температуры с предельно допустимой температурой нагрева при КЗ. Проводник удовлетворяет условию термической стойкости, если температура нагрева проводника к моменту отключения КЗ не превышает его предельно допустимую температуру нагрева.

Этот этап проверки проведем после расчетов токов КЗ. Для остальных кабелей расчет производится аналогично. Сведем данные по предварительному выбору кабелей внутризаводской сети в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 - Расчет выбора кабелей внутризаводской сети

Номер линии	Назначение линии	Количество линий	Расчетная нагрузка на один кабель		Длина линии $l, \text{км}$	Способ прокладки	$F_{\text{эк}}, \text{мм}^2$	Допустимая нагрузка на один кабель		Проверка по нагреву		Марка и сечение кабеля, выбранного по условию допустимого нагрева $S, \text{мм}^2$	$R_0, \text{Ом/км}$	$X_0, \text{Ом/км}$	$R, \text{Ом}$	$X, \text{Ом}$
			Норм. режим $I_p, \text{А}$	П.ав. режим $I_{п.а}, \text{А}$				Норм. режим $I_{\text{доп}}, \text{А}$	П.ав. режим $1,2I_{\text{доп}}, \text{А}$	Норм. режим $\frac{I_p}{K_1 \cdot K_2}, \text{А}$	П.ав. режим $\frac{I_{п.а}}{K_1 \cdot K_2}, \text{А}$					
КЛ-9	ГПП-КТП9	2	144,34	288,68	0,16	траншея	120,3	310	372	160,38	320,76	ААШв –3х120	0,258	0,081	0,041	0,012
КЛ-10	ГПП-КТП10	2	144,34	288,68	0,02	траншея	120,3	310	372	160,38	320,76	ААШв –3х120	0,258	0,081	0,005	0,001
КЛ-СД 1,6	ГПП-СД	1	106,92	-	0,06	траншея	89,1	205	246	133,65	-	ААШв –3х95	0,320	0,083	0,019	0,004
КЛ-СД 1,25	ГПП-СД	1	83,53	-	0,075	траншея	69,61	165	198	106,91	-	ААШв –3х70	0,443	0,080	0,033	0,006
КЛ-СД 1,0	ГПП-СД	1	66,82	-	0,12	траншея	55,69	165	198	83,53	-	ААШв –3х70	0,443	0,080	0,053	0,009

2.9 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

Расчет токов КЗ проводится в целях проверки элементов электроустановок и выбора аппаратуры на электродинамическую и термическую стойкость, а также уставок срабатывания защит и проверки их на чувствительность.

При расчете токов КЗ принимают следующие допущения, которые не дают существенных погрешностей:

- Трехфазная сеть принимается симметричной;
- Не учитываются токи нагрузки;
- Не учитываются емкостные токи в ВЛ и КЛ;
- Не учитывается насыщение магнитных цепей;
- Не учитываются токи намагничивания трансформаторов.

Расчёт токов КЗ будем проводить для участка распределительной сети 10кВ ГПП –КТП-9,СД. Намечаем на схеме расчетные точки. Составляем расчетную схему:

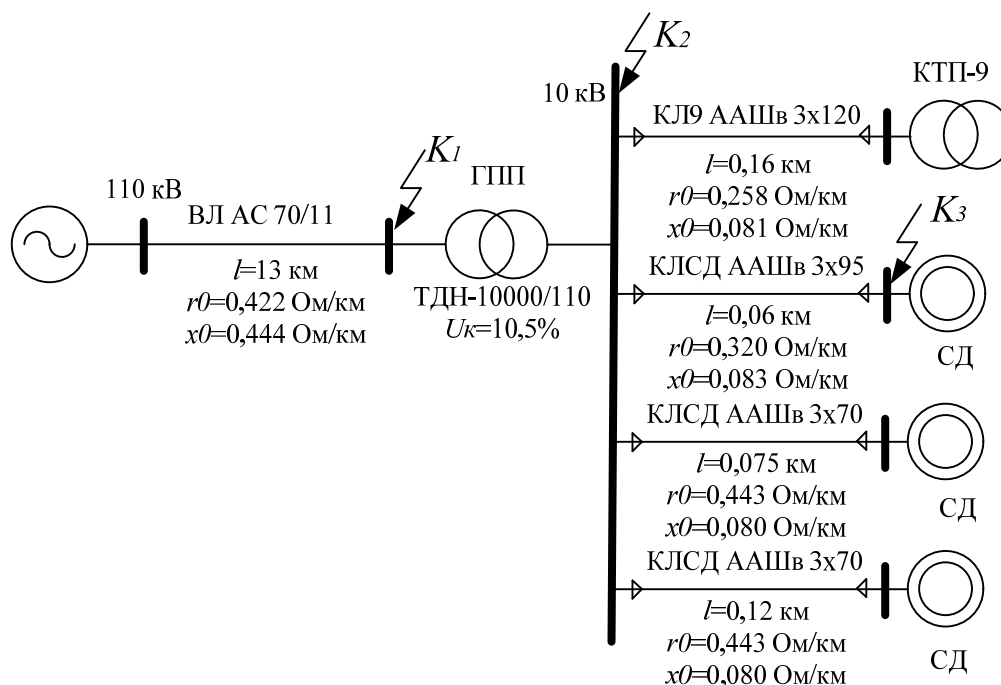


Рисунок 2.5 – Однолинейная расчетная схема для ГПП-КТП9, СД

Расчет ведем в относительных единицах. Для этого все расчётные данные приведем к базисному напряжению и базисной мощности. Величина базисного напряжения превышает номинальное на 5%. Следовательно, используя стандартный ряд базисных напряжений, принимаем $U_{61} = 115$ кВ, $U_{62} = 10,5$ кВ [1, стр.147]. За базисную мощность принимаем $S_6 = 100$ МВА .

Принимаем, что источник энергосистемы бесконечной мощности $S_c = \infty$ и соответственно индуктивное сопротивление $x_c = 0$.

Расчет параметров:

1. Сопротивления воздушной линии 110 кВ:

$$r_{вл} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{61}^2} = \frac{0,422 \cdot 13 \cdot 100}{115^2} = 0,04 \text{ о.е.};$$

$$x_{вл} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{61}^2} = \frac{0,444 \cdot 13 \cdot 100}{115^2} = 0,04 \text{ о.е.},$$

где $l = 13$ км - длина воздушной линии;

U_{61} - базисное напряжение данной ступени трансформации, кВ;

r_0 - активное сопротивление АС -70;

x_0 - индуктивное сопротивление АС -70.

2. Сопротивление трансформатора ГПП ТДН – 10000/110:

$$x_{тр} = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{НОМ.ТР}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 1,05 \text{ о.е.},$$

где $S_{НОМ.ТР}$ - номинальная мощность трансформатора;

$U_{кз}$ - напряжение короткого замыкания трансформатора.

Активным сопротивлением пренебрегаем, т.к. трансформатор большой мощности.

3. Сопротивление кабельной линии КЛ-СД1,6:

$$r_{кл} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,320 \cdot 0,06 \cdot 100}{10,5^2} = 0,02 \text{ о.е.};$$

$$x_{\text{кл}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,083 \cdot 0,06 \cdot 100}{10,5^2} = 0,004 \text{ о.е.},$$

где l - длина кабельной линии, км;

U_{62} - базисное напряжение данной ступени трансформации, кВ;

r_0 - активное сопротивление ААШв 3х95;

x_0 - индуктивное сопротивление ААШв 3х95.

Сопротивление кабельной линии КЛ-СД1,25:

$$r_{\text{кл}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,443 \cdot 0,075 \cdot 100}{10,5^2} = 0,03 \text{ о.е.};$$

$$x_{\text{кл}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,08 \cdot 0,075 \cdot 100}{10,5^2} = 0,005 \text{ о.е.}$$

Сопротивление кабельной линии КЛ-СД1,00:

$$r_{\text{кл}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,443 \cdot 0,12 \cdot 100}{10,5^2} = 0,05 \text{ о.е.};$$

$$x_{\text{кл}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,08 \cdot 0,12 \cdot 100}{10,5^2} = 0,008 \text{ о.е.}$$

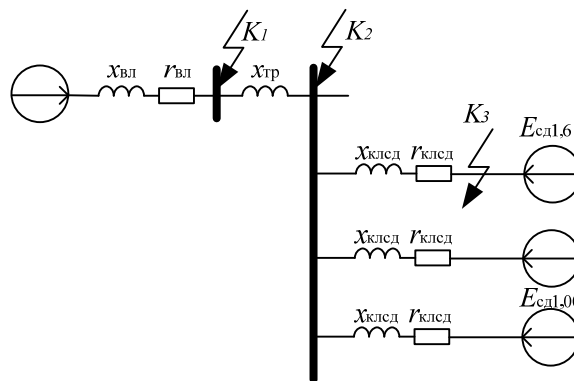


Рисунок 2.6 – Однолинейная схема замещения

Точка К3 - ток КЗ от СД на его зажимах

Считаем ток от самого мощного двигателя.

Принимаем

$$E'' = 1,1, \quad x_d'' = 0,2$$

$$I_{\text{ном.сд}} = \frac{P_{\text{ном.сд}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}}} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,96 \cdot 0,9} = 106,92 \text{ А.}$$

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = I_{\text{кз_сд}} = \frac{E'' \cdot I_{\text{ном.сд}}}{x_d''} = \frac{1,1 \cdot 106,92}{0,2} = 0,59 \text{ кА.}$$

Точка К2

Базовый ток

$$I_{\text{б2}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б2}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,49 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление

$$Z_{\text{РЕЗ2}} = \sqrt{(x_{\text{вл}} + x_{\text{тр}})^2 + r_{\text{вл}}^2} = \sqrt{(0,04 + 1,05)^2 + 0,04^2} = 1,09 \text{ о.е.}$$

Подпитку токов КЗ от СД в точке К2 учитываем, так как длина КЛСД меньше трехсот метров.

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ от системы

$$I_{\text{кз}}^{(3)} = \frac{I_{\text{б2}}}{Z_{\text{РЕЗ2}}} = \frac{5,49}{1,09} = 5,04 \text{ кА.}$$

Подпитка от СД1,6:

$$I_{\text{кзсд1,6}}^{(3)} = I_{\text{кз_сд1,6}} = \frac{E'' \cdot I_{\text{ном.сд}}}{\sqrt{(x_d'' + x_{\text{клсд}})^2 + r_{\text{клсд}}^2}} = \frac{1,1 \cdot 106,92}{\sqrt{(0,2 + 0,004)^2 + 0,02^2}} = 0,57 \text{ кА.}$$

Подпитка от СД1,25:

$$I_{\text{кзсд1,25}}^{(3)} = I_{\text{кз_сд1,25}} = \frac{E'' \cdot I_{\text{ном.сд}}}{\sqrt{(x_d'' + x_{\text{клсд}})^2 + r_{\text{клсд}}^2}} = \frac{1,1 \cdot 83,53}{\sqrt{(0,2 + 0,005)^2 + 0,03^2}} = 0,44 \text{ кА.}$$

Подпитка от СД1,00:

$$I_{\text{кзсд1,00}}^{(3)} = I_{\text{кз_сд1,00}} = \frac{E'' \cdot I_{\text{ном.сд}}}{\sqrt{(x_d'' + x_{\text{клсд}})^2 + r_{\text{клсд}}^2}} = \frac{1,1 \cdot 66,82}{\sqrt{(0,2 + 0,008)^2 + 0,05^2}} = 0,34 \text{ кА.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в точке К2:

$$I_{\text{КЗК2}}^{(3)} = I_{\text{КЗ}}^{(3)} + I_{\text{КЗСД1,6}}^{(3)} + I_{\text{КЗСД1,25}}^{(3)} + I_{\text{КЗСД1,00}}^{(3)} = 5,04 + 0,57 + 0,44 + 0,34 = 6,39 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{КЗК2}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 2 \cdot 6,39 = 18,07 \text{ кА,}$$

где $k_{\text{уд}}$ - ударный коэффициент, определяемый следующим образом:

$$k_{\text{уд}} = 1 + e^{-0,01/T_a} = 1 + e^{-0,01/27,25} = 2,$$

где $T_a = x/r = 27,25$.

Точка К1

Базовый ток:

$$I_{\text{б1}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б1}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление:

$$Z_{\text{РЕЗ1}} = \sqrt{x_{\text{вл}}^2 + r_{\text{вл}}^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,04^2} = 0,06 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{I_{\text{б1}}}{Z_{\text{РЕЗ1}}} = \frac{0,5}{0,06} = 8,33 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{КЗК1}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,99 \cdot 8,33 = 23,44 \text{ кА,}$$

где $k_{\text{уд}}$ - ударный коэффициент, определяемый следующим образом:

$$k_{\text{уд}} = 1 + e^{-0,01/T_a} = 1 + e^{-0,01/1} = 1,99,$$

где $T_a = x/r = 1$.

Все данные сведены в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 – Сводная ведомость токов КЗ

Расчетный ток	К1	К2
$I_{\text{КЗ}}^{(3)}$	8,33	6,39
$i_{\text{уд}}$	23,44	18,07

Проверка КЛ-ТП9 будет проводиться по токам КЗ в точке К2, т.к. по результатам расчета токи короткого замыкания в этой точке выше, чем в конце линии.

Для проверки сечения кабеля на термическую стойкость к токам КЗ используется выражение:

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} \text{ мм}^2,$$

где C_T - коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника, для нашего случая $C_T = 95 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ [1];

B_k - тепловой импульс тока КЗ, $\text{А} \cdot \text{с}^2$.

Тепловой импульс тока короткого замыкания B_k определяется по формуле:

$$B_k = I_{\text{п0}}^2 (t_{\text{пр}} + T_a) = 6,39^2 \cdot (0,055 + 0,087) = 5,79 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с},$$

где $I_{\text{п0}}$ - начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ;

$t_{\text{пр}}$ - приведенное (расчетное) время отключения тока КЗ;

T_a - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания.

Постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ определяется как:

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}} = \frac{1,09}{314 \cdot 0,04} = 0,087 \text{ с},$$

где x_{Σ} , r_{Σ} - результирующее индуктивное и активное сопротивление схемы относительно точки КЗ.

Приведенное время отключения тока КЗ определяется по выражению:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{откл}} = 0,03 + 0,025 = 0,055 \text{ с,}$$

где $t_{\text{р.з.}}$ - время действия релейной защиты, с;

$t_{\text{откл}}$ - полное время отключения вакуумного выключателя равно 0,025 с.

Полное время действия релейной защиты $t_{\text{р.з.}}$ определяется по выражению:

$$t_{\text{р.з.}} = t_{\text{р.з.мин}} + \Delta t_c = 0,03 + 0 = 0,03 \text{ с,}$$

где $t_{\text{р.з.мин}}$ - минимальное время срабатывания первой ступени защиты, принимаемое равным $t_{\text{р.з.мин}} = 0,03 \text{ с}$ [6].

Δt_c - ступень селективности, принимается в проекте в зависимости от числа ступеней распределения энергии по территории предприятия.

Тогда

$$F_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{\sqrt{5,79 \cdot 10^6}}{95} = 25,33 \text{ мм}^2,$$

Условие выполнено. Выбранный для КЛ-КТП9 кабель марки ААШв 3х50 проходит по термической стойкости к току КЗ, следовательно, оставляем намеченный кабель.

Выбранное сечение необходимо проверить по потере напряжения:

$$\Delta U_{\text{КЛ}} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_{\text{Н}}^2} = \frac{3050,66 \cdot 0,258 \cdot 0,16 + 3112 \cdot 0,081 \cdot 0,16}{10 \cdot 10^2} = 0,34 \text{ ,}$$

где l - длина линии, км;

P , Q - активная и реактивная мощности, передаваемые по линии;

r_0 , x_0 - погонное активное и реактивное сопротивления КЛ, Ом/км.

Относительные потери напряжения считают приемлемыми, если они в послеаварийных режимах работы не превышают в сетях высокого напряжения

– 10%. В нашем случае выбранный кабель ААШв 3х50 прошел все этапы проверки и удовлетворяет всем требованиям.

Таблица 2.12 – Результаты проверки кабелей на термическую стойкость

Номер линии	Назначение линии	Количество линий	Марка и сечение кабеля, мм ²	длина линии l , км	S_{\min} , мм ² по термической стойкости КЗ	$\Delta U_{\text{КЛ}}$, %
КЛ-9	ГПП-КТП9	2	ААШв-3х120	0,16	25,33	0,34
КЛ-10	ГПП-КТП10	2	ААШв-3х120	0,02	25,33	0,04
КЛ-СД1,6	ГПП-СД	1	ААШв-3х95	0,06	25,33	0,03
КЛ-СД1,25	ГПП-СД	1	ААШв-3х70	0,075	25,33	0,04
КЛ-СД1,00	ГПП-СД	1	ААШв-3х70	0,12	25,33	0,05

2.10 Выбор аппаратов защиты выше 1000В

Выбор осуществляется по нескольким критериям:

- Напряжению электроустановки

$$U_{н.в.} \geq U_{ном},$$

где $U_{н.в.}$ – номинальное напряжение выключателя.

- Длительному току

$$I_{раб макс} \leq I_{н.в.},$$

где $I_{н.в.}$ – номинальный ток выключателя; $I_{раб макс}$ – рабочий максимальный ток, принимаем для установки выключателя после трансформатора и секционного выключателя как значение тока в послеаварийном режиме

$$I_{раб макс} = I_p^{п/а}$$

- По отключающей способности

$$I_{к2}^{(3)} \leq I_{ном.откл.},$$

$I_{ном.откл.}$ – номинальный ток отключения выключателя.

- По действующему значению тока

$$I_{к2}^{(3)} \leq I_{пр.с.},$$

$I_{пр.с.}$ – действующее значение предельного сквозного тока для выключателя ($I_{ном.откл.} = I_{пр.с.}$).

- По амплитудному значению тока

$$i_{у к2} = 18,07 \text{ кА} \leq i_{пр с}$$

$i_{пр с}$ – амплитудное значение предельного сквозного тока, кА

- На термическую стойкость выключатель проверяют по условию

$$B_k = 5,79 \leq I_T^2 t_T,$$

где I_T – ток термической стойкости выключателя (кА), t_T – время термической стойкости выключателя (с).

Номинальный ток трансформатора:

$$\text{ВН: } I_{номВН} = \frac{S_{трном}}{\sqrt{3} \cdot U_{номВН}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,49 \text{ А};$$

$$\text{НН: } I_{номНН} = \frac{S_{трном}}{\sqrt{3} \cdot U_{номНН}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 549,86 \text{ А}.$$

Ток в питающих линиях:

Нормальный режим:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{гр.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.вн}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52,49 \text{ А.}$$

Аварийный режим (вся нагрузка на одной линии):

$$\text{ВН: } I_{\text{пав}} = 2 \cdot I_{\text{расч}} = 2 \cdot 52,49 = 104,98 \text{ А.}$$

$$\text{НН: } I_{\text{пав}} = 1,4 \cdot I_{\text{расч}} = 52,49 \cdot 1,4 = 73,49 \text{ А}$$

Для ВН выбираем ВГТ-110

Таблица 2.13 Автоматические выключатели на ГПП НН

Уч. защиты	$I_{\text{раб макс}}$	$I_{\text{кз}}^{(3)}$	i_y	$I_{\text{н.в.}}$	$I_{\text{пр.с.}}$	$i_{\text{пр с}}$	$I_{\text{T}}^2 t_{\text{T}}$	
	А	кА	кА	А	кА	кА	А ² с	
ГПП-КТП9	288,68	6,39	18,07	630	12,5	32	468,75	ВВ/TEL-10-12,5/630-У2
ГПП-КТП10	288,68	6,39	18,07	630	12,5	32	468,75	ВВ/TEL-10-12,5/630-У2
ГПП-СД1,6	106,92	6,39	18,07	630	12,5	32	468,75	ВВ/TEL-10-12,5/630-У2
ГПП-СД1,25	83,53	6,39	18,07	630	12,5	32	468,75	ВВ/TEL-10-12,5/630-У2
ГПП-СД1,0	66,82	6,39	18,07	630	12,5	32	468,75	ВВ/TEL-10-12,5/630-У2
Т1-ШНН,Т2-ШНН, СВ	769,8	6,39	18,07	1000	12,5	32	468,75	ВВ/TEL-10-12,5/1000-У2

2.11 Выбор ответвлений к ЭП с учетом защитных аппаратов

В комплекс внутрицехового электроснабжения входят питающие и распределительные линии, ШР напряжением до 1 кВ, аппаратура коммутации и защиты сетей и ответвлений к отдельным электроприемникам. Выбор автоматического выключателя для ШР-1:

$$I_{\text{дл}} = 65,81 \text{ А.}$$

$$I_{\text{пуск}} = 197,71 \text{ А.}$$

Условия для выбора автоматического выключателя:

$$I_{\text{н,расц}} = 80 \geq 1,1 \cdot I_{\text{дл}} = 72,39 \text{ А};$$

$$I_{\text{кз}} = 320 \geq 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 197,71 = 247,14 \text{ А}$$

Выбираем автоматический выключатель серии ВА 57-35. Данные выключателя приведены в таблице 2.13.

Таблица 2.14 – Справочные данные ВА 57-35.

Расчетные данные		Справочные данные
$U_{\text{н}} = 0,4 \text{ кВ}$	=	$U_{\text{н}} = 0,4 \text{ кВ}$
$1,1 \cdot I_{\text{дл}} = 72,39 \text{ А}$	<	$I_{\text{н,расц}} = 80 \text{ А}$
$1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 247,14 \text{ А}$	<	$I_{\text{уставки}} = 320 \text{ А}$

Данные выключателей для ШР приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.15 - Выбор автоматических выключателей для ШР

Наименование ЭП	$I_{\text{дл}}$, А	$I_{\text{п}}$, А	$1,1 \cdot I_{\text{дл}}$, А	$1,25 \cdot I_{\text{п}}$, А	$I_{\text{расц}}$, А	$I_{\text{отс}}$, А	Тип
ШР1	65,81	197,71	72,39	247,14	80	320	ВА 57-35
ШР2	61,42	277,04	67,56	346,3	80	400	ВА 57-35
ШР3	68,63	465,27	75,49	581,58	80	640	ВА 57-35
ШР4	107	401,44	117,7	501,8	125	600	ВА 57-35

Пример выбора автоматического выключателя для вертикально-фрезерного станка:

Номинальный ток определяем по формуле:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}} \cdot \eta},$$

где $P_{\text{ном}}$ - номинальная мощность, кВт;

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

$\cos\varphi_{\text{ном}}$ - номинальный коэффициент мощности;

η - КПД, $\eta=0,8$ – для электроприемников с $P_{\text{ном}} \leq 10$ кВт, а для электроприемников с $P_{\text{ном}} > 10$ кВт $\eta=0,9$.

Получаем:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}} \cdot \eta} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,8} = 37,98 \text{ А};$$

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пуск}} = 5 \cdot 37,98 = 189,9 \text{ А},$$

где $I_{\text{пуск}}$ - пусковой.

Условия для выбора автоматического выключателя:

$$I_{\text{н.расц}} = 160 \geq 1,15 \cdot I_{\text{дл}} = 43,68 \text{ А};$$

$$I_{\text{кз}} = 1280 \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 189,9 = 284,85 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель серии ВА 99М/63. Данные выключателя приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Справочные данные ВА 99М/63

Расчетные данные		Справочные данные
$U_{\text{н}} = 0,4 \text{ кВ}$	=	$U_{\text{н}} = 0,4 \text{ кВ}$
$1,15 \cdot I_{\text{дл}} = 43,68 \text{ А}$	<	$I_{\text{н.расц}} = 50 \text{ А}$
$1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 284,85 \text{ А}$	<	$I_{\text{уставки}} = 500 \text{ А}$

Выбор выключателей электроприемников сводим в таблицу 2.17.

Таблица 2.17 - Выбор автоматических выключателей для электроприемников

Наименование ЭП	Идл, А	Икр, А	1,15 * Идл, А	1,5* Икр, А	Ирасц, А	Ютс, А	Тип
Вертикально-фрезерный станок	37,98	189,9	43,68	284,85	50	500	ВА 99М/63
Фрезерный станок с ЧПУ	44,20	221	50,83	331,5	63	630	ВА 99М/63
Универсально-фрезерный станок	40,56	202,8	46,64	304,2	50	500	ВА 99М/63
Токарно-револьверный станок	11,70	58,5	13,45	87,75	16	500	ВА 99М/63
Токарно-винторезный станок	47,88	239,4	55,06	359,1	63	630	ВА 99М/63
Настольно-сверлильный станок	8,36	41,8	9,61	62,7	16	500	ВА 99М/63
Резьбонарезной полуавтомат	9,50	47,5	10,92	71,25	16	500	ВА 99М/63
Заточной станок	28,52	142,6	32,79	213,9	50	500	ВА 99М/63
Листозагибочная машина	64,22	321,1	73,83	481,65	80	800	ВА 99М/100
Точильно-шлифовальный станок	19,01	95,05	21,86	142,57	32	500	ВА 99М/63
Вертикально-сверлильный станок	34,22	171,1	39,35	256,65	50	500	ВА 99М/63
Радиально-сверлильный станок	22,81	114,05	26,23	171,07	40	500	ВА 99М/63
Универсально-заточной станок	22,18	110,9	25,55	166,35	40	500	ВА 99М/63
Плоскошлифовальный станок	36,62	183,1	42,11	274,65	50	500	ВА 99М/63
Полировальный станок	31,69	158,45	36,44	237,67	40	500	ВА 99М/63
Сварочная машина	19,01	95,05	21,86	142,57	32	500	ВА 99М/63
Сварочная кабина	24,44	122,2	28,10	183,3	40	500	ВА 99М/63
Вентиляторы	14,26	71,3	16,39	106,95	20	500	ВА 99М/63

2.12 Выбор распределительных шкафов (ШР)

Распределительные шкафы кузнечного цеха выполнены как в напольном, так и в навесном исполнении. ШР состоят из металлической оболочки со встроенными аппаратами защиты ЭП, приборами и сборными шинами. Устанавливаем шкафы распределения серии, предназначенных для эксплуатации в цепях с номинальным напряжением до 660 В переменного тока частотой 50 Гц [1].

Таблица 2.18 – Параметры распределительные шкафов цеха

№ Шкафа	I _p , А	Кол-во отходящих линий, шт	Тип	I _н , А
ШР1	65,81	7	ПР11-3086-31УЗ	250
ШР2	61,42	5	ПР11-3084-31УЗ	250
ШР3	68,63	23	3 ПР11-3086-31УЗ	250
ШР4	107	15	2 ПР11-3086-31УЗ	250

Для питания электроприемников принимаем провод марки АВВГ [2].

Кабель АВВГ – кабель силовой, предназначен для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках с номинальным переменным напряжением 0,66 или 1 кВ. Применяется для прокладки в сухих и влажных помещениях на специальных кабельных эстакадах, в блоках, щитах.

Расшифровка обозначения для кабеля силового АВВГ:

- первая «А» – алюминиевые жилы;
- вторая «В» - изоляция из ПВХ-пластиката (винила);
- третья «В» - оболочка из ПВХ-пластиката (винила);
- буква «Г» - отсутствие брони (голый);
- буква «Т» через дефис - тропическое исполнение (ВВГ-Т);
- буква «П» через дефис - кабель в плоском исполнении (ВВГ-П).

Эксплуатация кабеля ВВГ при температуре окружающей среды от -50°С до +50°С. Рекомендуется для прокладки на открытом воздухе, в сухих и влажных производственных помещениях. Кабель АВВГ, имеющий заполнение между

жилами, выполненное по ГОСТ, может прокладываться в земле при условии низкой коррозионной активности почвы и отсутствии значительных механических нагрузок. Может быть проложен без предварительного подогрева при температуре не ниже минус 15°C. Минимальный радиус изгиба при прокладке должен быть не менее 7,5 наружных диаметров кабеля. Не распространяет горение при одиночной прокладке. Срок службы кабеля АВВГ – 30 лет.

Выберем провод для вертикально-фрезерного станка, 10 кВт.

По условию нагрева длительным (расчетным) током

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_{\text{расч}}}{K_{\text{прокл}}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot \eta \cdot U_{\text{ном}}} \cdot \frac{1}{K_{\text{прокл}}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,38} \cdot \frac{1}{0,8} = 47,78 \text{ А},$$

где для наших условий $K_{\text{прокл}} = K_1 \cdot K_2 = 0,8$ [1].

Выбираем сечение токопроводящей жилы 10 мм² с $I_{\text{доп}} = 65 \text{ А}$ [9].

По условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защиты:

$$I_{\text{доп}} = 65 \text{ А} \geq \frac{K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{защ}}}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 50}{0,8} = 62,5 \text{ А},$$

где $I_{\text{защ}}$ – ток уставки срабатывания защитного аппарата;

$K_{\text{защ}}$ – кратность длительно допустимого тока для провода или кабеля по отношению к току срабатывания защитного аппарата.

Выбранное сечение проходит проверку по условию согласования с выбранным АВ. Принимаем кабель марки АВВГ - (4х10): $I_{\text{доп}}=65 \text{ А}$

Результаты выбора сечений проводов сводим в таблицу 2.18.

Таблица 2.19 – Выбор кабельных линий к электроприемникам

ЭП	P_H	$\cos \varphi$	I_p, A	$I_{заш}, A$	$K_z I_{заш} / K_{прокл}$	$I_{доп}, A$	Марка кабеля	L, м
Вертикально-фрезерный станок	10	0,5	37,98	50	62,5	65	АВВГ(4х10)	3,75
Фрезерный станок с ЧПУ	17	0,65	44,20	63	84	90	АВВГ(4х16)	7,5
Универсально-фрезерный станок	12	0,5	40,56	50	66,66	90	АВВГ(4х16)	7
Токарно-револьверный станок	4	0,65	11,70	16	21,33	38	АВВГ(4х4)	9,5
Токарно-винторезный станок	17	0,6	47,88	63	84	90	АВВГ(4х16)	8,5
Настольно-сверлильный станок	2,2	0,5	8,36	12	16	38	АВВГ(4х4)	7,5
Резьбонарезной полуавтомат	3	0,6	9,50	12	16	38	АВВГ(4х4)	7,5
Заточной станок	9	0,6	28,52	40	53,33	65	АВВГ(4х10)	9,5
Листогагбочная машина	19	0,5	64,22	80	106,66	115	АВВГ(4х25)	7
Точильно-шлифовальный станок	5	0,5	19,01	25	33,33	38	АВВГ(4х4)	5,5
Вертикально-сверлильный станок	9	0,5	34,22	50	66,66	90	АВВГ(4х16)	3,5
Радиально-сверлильный станок	6	0,5	22,81	40	53,33	65	АВВГ(4х10)	4
Универсально-заточной станок	7	0,6	22,18	40	53,33	60	АВВГ(4х16)	4
Плоскошлифовальный станок	13	0,6	36,62	50	66,67	90	АВВГ(4х16)	2
Полировальный станок	10	0,6	31,69	40	53,33	65	АВВГ(4х10)	2
Сварочная машина	7	0,7	19,01	25	33,33	38	АВВГ(4х4)	4,5
Сварочная кабина	9	0,7	24,44	40	53,33	65	АВВГ(4х10)	6,5
Вентиляторы	6	0,8	14,26	25	31,25	38	АВВГ(4х4)	3,75

Таблица 2.20 – Выбор кабельных линий к ШР

ШР	I_p , А	$I_{заш}$, А	$K_{з}I_{заш}/K_{прокл}$	$I_{доп}$, А	Марка кабеля	L, м
ШР1	65,81	80	100	115	АВВГ(4х25)	9
ШР2	61,42	80	100	115	АВВГ(4х25)	7
ШР3	68,63	80	100	115	АВВГ(4х25)	24
ШР4	107	125	156,25	165	АВВГ(4х50)	18

2.13 Построение эпюры отклонения напряжения

Согласно ПУЭ для силовых сетей отклонение напряжения от номинального должно составлять не более $\pm 5\% U_n$. Для осветительных сетей промышленных предприятий и общественных зданий допускается отклонение напряжения от +5 до -2,5 % U_n .

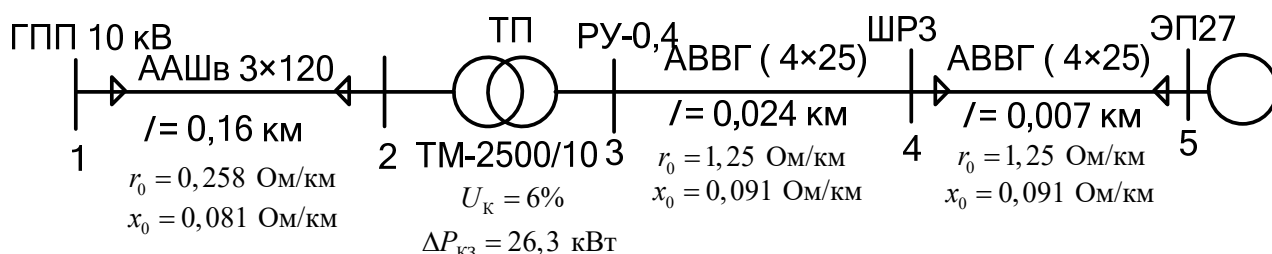


Рисунок 2.7 – Радиальная схема для расчета отклонений напряжения

Узел 5

Расчетная активная нагрузка на участке 4 – 5:

$$P_{4-5} = P_{\text{ном.эп27}} = 19 \text{ кВт},$$

где $P_{\text{ном.эп27}}$ – номинальная активная мощность ЭП27.

Расчетная реактивная нагрузка на участке 4 – 5:

$$Q_{4-5} = Q_{\text{ном.эп27}} = 32,87 \text{ кВар},$$

где $Q_{\text{ном.эп27}}$ – номинальная реактивная мощность ЭП27.

Узел 4

$$S_{\text{расч.шр3}} = 32,4 + j31,47 \text{ кВА},$$

где $S_{\text{расч.шр3}}$ – суммарная нагрузка ШР3.

Узел 3

$$S_{\text{расч.кпп9}} = 3050,66 + j3112 \text{ кВА},$$

где - суммарная нагрузка КТП9.

Расчетная нагрузка на 1 трансформатор:

$$S_{\text{расч.тр}} = \frac{S_{\text{расч.кТП9}}}{2} = 1525,33 + j1556 \text{ кВА.}$$

Узел 2_– сторона ВН трансформатора КТП9. Нагрузка складывается из мощности на стороне НН плюс потери в трансформаторе.

Определяем потери в трансформаторе ТМ-2500/10.

Потери активной мощности:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{хх.тр}} + \Delta P_{\text{кз.тр}} \beta_{\text{тр}}^2 = 3,35 + 26,3 \cdot \left(\frac{\sqrt{1525,33^2 + 1156^2}}{2500} \right)^2 = 18,76 \text{ кВт;}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_{\text{тр}} &= \Delta Q_{\text{хх.тр}} + \Delta Q_{\text{кз.тр}} \beta_{\text{тр}}^2 = \frac{I_{\text{хх}} \cdot S_{\text{н.тр}}}{100} + \frac{U_{\text{кз}} \cdot S_{\text{н.тр}}}{100} \cdot \left(\frac{S_{\text{расчт}}}{S_{\text{н.тр}}} \right) = \\ &= \frac{0,8 \cdot 2500}{100} + \frac{6 \cdot 2500}{100} \cdot \left(\frac{\sqrt{1525,33^2 + 1556^2}}{2500} \right)^2 = 133,95 \text{ кВар.} \end{aligned}$$

Находим расчетную нагрузку в узле 2:

$$P_{\text{расч2}} = P_{\text{расч3}} + \Delta P_{\text{тр}} = 1525,33 + 18,76 = 1544 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\text{расч2}} = Q_{\text{расч3}} + \Delta Q_{\text{тр}} = 1556 + 133,95 = 1690 \text{ кВар.}$$

Нагрузки минимального режима

Для минимального режима необходим годовой график активной и реактивной нагрузок: в качестве такого графика принимаем характерный суточный график нагрузок завода.

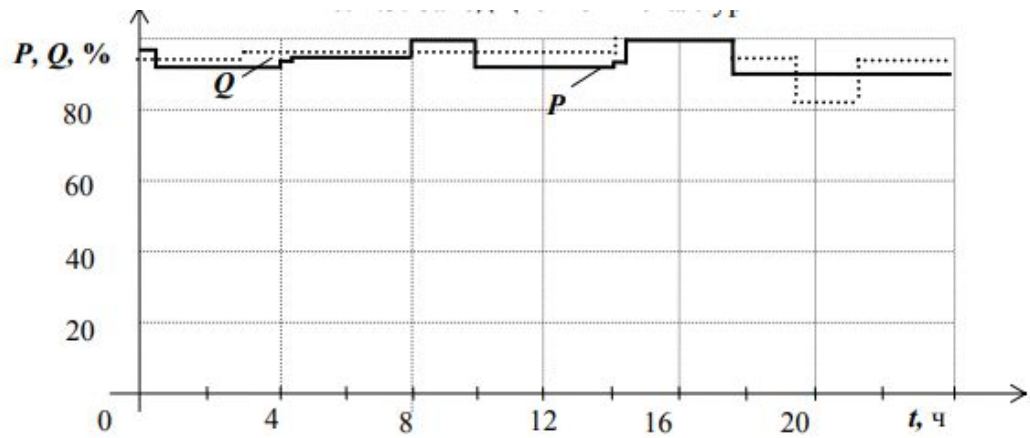


Рисунок 2.8 – Характерные сутонные графики цементного завода

$$P_{\min 12} = 0,90 \cdot P_{\max 12} = 0,90 \cdot 1544 = 1389,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{\min 12} = 0,85 \cdot Q_{\max 12} = 0,85 \cdot 1690 = 1436,5 \text{ кВар};$$

$$P_{\min 23} = 0,9 \cdot P_{\max 23} = 0,9 \cdot 1525,33 = 1372,77 \text{ кВт};$$

$$Q_{\min 23} = 0,85 \cdot Q_{\max 23} = 0,85 \cdot 1556 = 1322,6 \text{ кВар};$$

$$P_{\min 34} = 0,9 \cdot P_{\max 34} = 0,9 \cdot 32,4 = 29,16 \text{ кВт};$$

$$Q_{\min 34} = 0,85 \cdot Q_{\max 34} = 0,85 \cdot 31,47 = 26,75 \text{ кВар};$$

Нагрузка в 5 узле остается неизменной, если она в максимальном режиме меньше, чем в узле 4 в минимальном.

$$P_{\max 5} \leq P_{\min 34}, \quad Q_{\max 5} \leq Q_{\min 34}.$$

Условие не выполняется.

$$P_{\min 45} = 0,9 \cdot P_{\max 45} = 0,9 \cdot 19 = 17,1 \text{ кВт};$$

$$Q_{\min 45} = 0,85 \cdot Q_{\max 45} = 0,85 \cdot 32,87 = 27,94 \text{ кВар}.$$

Нагрузки послеаварийного режима

В послеаварийном режиме величина нагрузки в узлах 2,3, и 4 увеличивается в два раза по сравнению с максимальным, а в узлах 4 и 5 остается без изменений.

Таблица 2.21 – Расчет нагрузок для различных режимов

Нагрузка в режимах, кВА	Обозначение участка			
	1-2	2-3	3-4	4-5
максимальный	1544+j1690	1525,33+j1556	32,4+j31,47	19+j32,87
минимальный	1389,6+j1436,5	1372,77+j1322,6	29,16+j26,75	17,1+j27,94
послеаварийный	3088+j3380	3050,66+j3112	32,4+j31,47	19+j32,87

**Потери напряжения
Максимальный режим**

Участок 1 – 2

Потери напряжения на данном участке определим по выражению:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2}, \%$$

где R_{12} , X_{12} – активное и индуктивное сопротивления КЛ, питающей КТП;

U_1 – напряжение на шинах РУ НН ГПП (величину напряжения в начале участка в максимальном и послеаварийном режиме принимаем равным $U_1=10,5$ кВ).

Тогда в процентах

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{1544 \cdot 0,04 + 1690 \cdot 0,01}{10 \cdot 10,5^2} = 0,07\%.$$

В вольтах:

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12\%} \cdot \frac{U_1}{100} = 0,07 \cdot \frac{10500}{100} = 7,4 \text{ В.}$$

Тогда напряжение в узле 2:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 10500 - 7,4 = 10492,6 \text{ В.}$$

Участок 2 – 3

Потери напряжения на участке 2 – 3 определяются потерей напряжения на цеховом трансформаторе и определяется по выражению:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos\varphi_2 + U_p \cdot \sin\varphi_2) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin\varphi_2 - U_p \cdot \cos\varphi_2)^2,$$

где U_a , U_p – активная и реактивная составляющие напряжения КЗ;

$\cos\varphi_2$ и $\sin\varphi_2$ – коэффициенты мощности по нагрузке трансформатора (с учетом установки компенсирующих устройств).

Активная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора определяется:

$$U_a \% = \frac{\Delta P_k \cdot 100}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{26,3 \cdot 100}{2500} = 1,1\%.$$

Реактивная составляющая:

$$U_p \% = \sqrt{U_{\text{кз}}^2 - U_a^2} = \sqrt{6^2 - 1,1^2} = 5,89\%.$$

Коэффициенты мощности для вторичной нагрузки цехового трансформатора определяем по выражению:

$$\cos\varphi_2 = \frac{P_{23}}{\sqrt{(P_{23})^2 + (Q_{23})^2}} = \frac{1525,33}{\sqrt{(1525,33)^2 + (1556)^2}} = 0,7;$$

$$\sin\varphi_2 = \frac{Q_{23}}{\sqrt{(P_{23})^2 + (Q_{23})^2}} = \frac{1556}{\sqrt{(1525,33)^2 + (1556)^2}} = 0,7.$$

Отношение фактической нагрузки одного трансформатора к его номинальной мощности в рассматриваемом режиме работы:

$$\beta_T = \frac{\sqrt{(P_{23})^2 + (Q_{23})^2}}{S_{\text{н.тр}}} = \frac{\sqrt{1525,33^2 + 1556^2}}{2500} = 0,81;$$

Тогда

$$\begin{aligned} \Delta U_{T\%} &= \beta_T \cdot (U_a \cdot \cos\varphi_2 + U_p \cdot \sin\varphi_2) + \frac{\beta_T^2}{200} \cdot (U_a \cdot \sin\varphi_2 - U_p \cdot \cos\varphi_2)^2 = \\ &= 0,81 \cdot (1,1 \cdot 0,7 + 5,89 \cdot 0,7) + \frac{0,81^2}{200} \cdot (1,1 \cdot 0,7 - 5,89 \cdot 0,7)^2 = 4\%. \end{aligned}$$

Потери напряжения

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{T\%} \cdot \frac{U_2}{100} = 4 \cdot \frac{10492,6}{100} = 419,7 \text{ В.}$$

Напряжение в узле 3

$$U_3 = (U_2 - \Delta U_{23}) \cdot \frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}} = (10492,6 - 419,7) \cdot \frac{400}{10500} = 383,73 \text{ В.}$$

Участок 3 – 4

$$\Delta U_{34\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{32,4 \cdot 0,03 + 31,47 \cdot 0,002}{10 \cdot 383,73^2} = 0,007\%$$

В вольтах

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34\%} \cdot \frac{U_3}{100} = 0,007 \cdot \frac{383,73}{100} = 0,02 \text{ В.}$$

Напряжение в узле 4

$$U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 383,73 - 0,02 = 383,71 \text{ В.}$$

Участок 4 – 5

$$\Delta U_{45\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{19 \cdot 0,008 + 32,87 \cdot 0,001}{10 \cdot 383,71^2} = 0,001\%$$

В вольтах

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45\%} \cdot \frac{U_4}{100} = 0,001 \cdot \frac{383,71}{100} = 0,004 \text{ В.}$$

Напряжение в узле 5

$$U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 383,71 - 0,004 = 383,706 \text{ В.}$$

Для режимов минимальных нагрузок и послеаварийного режима расчет проводим аналогично.

Таблица 2.22 – Результаты расчета режимов

Участок	1-2	2-3	3-4	4-5
Марка кабеля	ААШв (3x120)	ТМ – 2500/10	АВВГ- (4x25)	АВВГ- (4x120)
R, Ом	0,041	U _{кз} =6%	0,03	0,008
X, Ом	0,013	ΔP _{кз} =26,3 кВт	0,002	0,001

Продолжение таблицы 2.22

<u>Максимальный режим</u>				
Р, кВт	1544	1525,33	32,4	19
Q, кВар	1690	1556	31,47	32,87
ΔU , %	0,078	4,38	0,789	0,144
ΔU , В	8,15	459,5	2,866	0,52
<u>Минимальный режим</u>				
Р, кВт	1389,6	1372,7	29,16	17,1
Q, кВар	1436,5	1322,6	26,75	27,19
ΔU , %	0,069	3,75	0,699	0,126
ΔU , В	7,23	394	2,55	0,46
<u>Послеаварийный режим</u>				
Р, кВт	3088	3050,66	32,4	19
Q, кВар	3380	3112	31,47	32,87
ΔU , %	0,155	8,84	0,87	0,159
ΔU , В	16,3	927,1	3	0,55

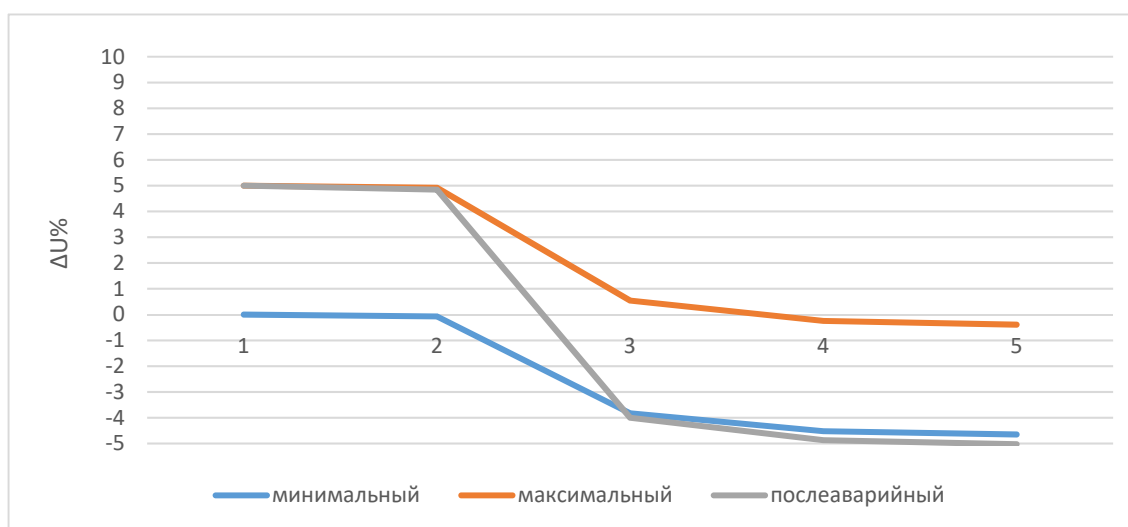


Рисунок 2.9 Эпюры отклонения напряжения

2.14 Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В

Особенности расчета токов КЗ в сетях до 1000 В:

- 1) мощность системы ($S_{\text{сист}}$) принимается бесконечной, т. е. напряжение на шинах цеховых ТП считается неизменным при КЗ в сети до 1 кВ;
- 2) учитываются активные и индуктивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети;

Расчет ведется в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети ($U=1,05 \cdot U_{\text{НОМ.СЕТИ}}=400 \text{ В}$ при $U_{\text{НОМ.СЕТИ}}=380\text{В}$)

Расчет трехфазных токов КЗ

Ток трехфазного КЗ определяется по формуле:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{рез}}},$$

где $Z_{\text{рез}}$ – полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

Ударный ток КЗ определяется по формуле:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{КЗ}}^{(3)},$$

где $k_{\text{уд}}$ – ударный коэффициент тока КЗ, определяется по кривым затухания [1].

Для расчета токов КЗ составим расчетную схему.

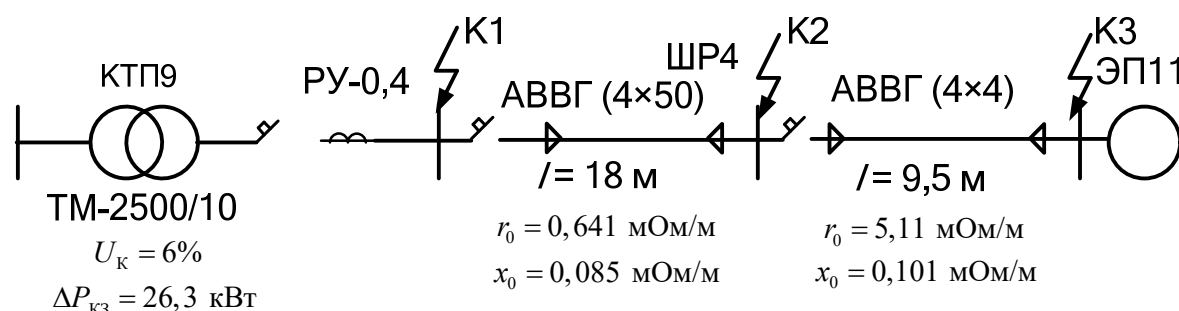


Рисунок 2.10 – Расчетная схема распределительной сети

Определяем сопротивления для расчета трехфазного КЗ, используя справочные данные[1].

1. Сопротивления трансформатора:

$$R_{\text{тр}} = 0,6 \text{ мОм}; X_{\text{тр}} = 3,8 \text{ мОм}.$$

2. Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТТ:

$$R_{\text{ТТ}} = 0,11 \text{ мОм}; X_{\text{ТТ}} = 0,17 \text{ мОм}.$$

3. Сопротивления автоматического выключателя QF1:

$$R_{\text{QF1}} = 0,07 \text{ мОм}; X_{\text{QF1}} = 0,08 \text{ мОм}; R_{\text{кQF1}} = 0,08 \text{ мОм}.$$

4. Сопротивления автоматического выключателя QF2:

$$R_{\text{QF2}} = 0,40 \text{ мОм}; X_{\text{QF2}} = 0,50 \text{ мОм}; R_{\text{кQF2}} = 0,60 \text{ мОм}.$$

5. Сопротивления автоматического выключателя QF3:

$$R_{\text{QF3}} = 0,40 \text{ мОм}; X_{\text{QF3}} = 0,50 \text{ мОм}; R_{\text{кQF3}} = 0,60 \text{ мОм}.$$

6. Сопротивления кабельной линии КЛ1:

$$R_{\text{КЛ1}} = 11,54 \text{ мОм}; X_{\text{КЛ1}} = 1,53 \text{ мОм}.$$

7. Сопротивления кабельной линии КЛ2:

$$R_{\text{КЛ2}} = 48,55 \text{ мОм}; X_{\text{КЛ2}} = 0,96 \text{ мОм}.$$

8. Переходные сопротивления ступеней распределения:

$$R_{\text{РВ.НН}} = 15 \text{ мОм}; R_{\text{ШР}} = 20 \text{ мОм}.$$

Определяем эквивалентные сопротивления до точек КЗ:

$$R_1 = R_{\text{тр}} + R_{\text{QF1}} + R_{\text{кQF1}} + R_{\text{ТТ}} + R_{\text{РВ.НН}} = 15,86 \text{ мОм};$$

$$X_1 = X_{\text{тр}} + X_{\text{QF1}} + X_{\text{ТТ}} = 4,05 \text{ мОм};$$

$$R_2 = R_{\text{QF2}} + R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{кQF2}} + R_{\text{ШР}} = 32,54 \text{ мОм};$$

$$X_2 = X_{\text{КЛ1}} + X_{\text{QF2}} = 2,03 \text{ мОм}.$$

$$R_3 = R_{\text{QF3}} + R_{\text{кQF3}} + R_{\text{КЛ2}} = 49,55 \text{ мОм};$$

$$X_3 = X_{\text{КЛ2}} + X_{\text{QF3}} = 1,96 \text{ мОм}.$$

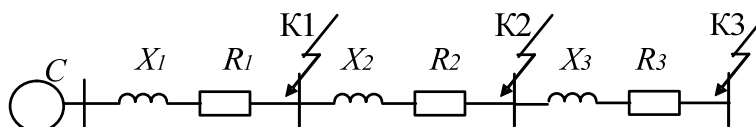


Рисунок 2.11 – Упрощенная схема замещения цеховой сети

Пример расчета тока КЗ для точки К1:

$$Z_{к1} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{15,86^2 + 4,05^2} = 16,37 \text{ мОм};$$

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{к1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 16,37} = 14,11 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{к3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,5 \cdot 14,11 = 29,93 \text{ кА}.$$

По рис 1.1 [1] определим $k_{\text{уд}}$. Для этого требуется определить $X_1/R_1=3,92$, откуда $k_{\text{уд}} = 1,5$.

Для остальных точек расчет проводится аналогично, и результаты заносятся в таблицу 5.1.

Расчет однофазных токов КЗ

Ток однофазного КЗ определяется по формуле:

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\text{тр}}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}};$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение в точке КЗ, В;

$Z_{\phi-0}$ – полное сопротивление петли «фаза нуль» до точки КЗ, мОм;

$Z_{\text{тр}}^{(1)}$ – полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ, мОм.

Схема замещения для расчетов однофазного КЗ не изменится, однако необходимо добавить сопротивления нулевых проводников [8].

Сопротивление нулевой жилы кабельной линии:

$$R_{0-кЛ1} = r_0 \cdot l = 7,81 \cdot 18 = 140,58 \text{ мОм};$$

$$R_{0-кЛ2} = r_0 \cdot l = 12,5 \cdot 9,5 = 118,75 \text{ мОм}.$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии:

$$X_{кЛ1} = x_0 \cdot l = 0,15 \cdot 18 = 2,7 \text{ мОм};$$

$$X_{кЛ2} = x_0 \cdot l = 0,15 \cdot 9,5 = 1,43 \text{ мОм}.$$

Сопротивления трансформатора:

$$Z_{\text{тр}}^{(1)} = 81 \text{ мОм};$$

Пример расчета тока КЗ для точки К2:

$$R_1 = R_{QF1} + R_{кQF1} + R_{тТ} + R_{пУ.НН} = 15,86 \text{ мОм};$$

$$X_1 = X_{QF1} + X_{тТ} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{кЛЛ1} + R_{0кЛЛ1} + R_{кQF2} = 153,12 \text{ мОм};$$

$$X_2 = X_{кЛЛ1} + X_{QF2} = 2,2 \text{ мОм}.$$

Тогда

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} = \sqrt{(15,26 + 153,12)^2 + (0,25 + 2,2)^2} = 168,39 \text{ мОм};$$

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{тр}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}} = \frac{230}{\frac{81}{3} + 168,69} = 1,18 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов токов КЗ для остальных точек сведены в таблицу 5.1

Таблица 2.23 – Сводная ведомость токов КЗ

Расчетные точки		К1	К2	К3
Токи КЗ, кА	$I_{КЗ}^{(3)}$	14,11	4,73	2,34
	$I_{КЗ}^{(2)}$	12,22	4,09	2,03
	$I_{КЗ}^{(1)}$	5,44	1,18	0,93
	$i_{уд}$	29,93	6,69	3,31

2.15 Построение карты селективности действия аппаратов защиты

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

- 1) Номинальный и пусковой токи электроприемника;
- 2) Расчетный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- 3) Расчетный и пиковый ток подстанции;
- 4) Защитные характеристики защитных аппаратов (автоматических выключателей)
- 5) Значения токов КЗ в сети 0,4 кВ

Построим карту селективности действия аппаратов защиты для цепочки защит КТП9 – РУНН – ШР4– ЭП11.

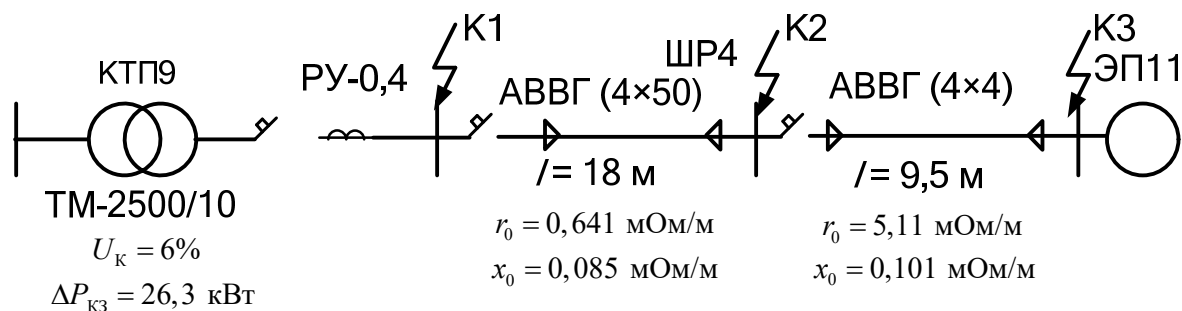


Рисунок 2.11 – Расчетная схема для участка цеховой сети КТП9 – ЭП11

Таблица 2.24 – Данные для построения карты селективности

	РУ НН	ШР4	ЭП11	Ток КЗ, кА		
				1	2	3
I_p, A	605,2	107	-	14,11	4,73	2,34
$I_{пик}, A$	2269,8	401,44	-			
$I_{ном}, A$	-	-	11,70			
$I_{пуск}, A$	-	-	58,50			

Таблица 2.25 Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА 53-43 (РУНН1)	1000	3000
ВА 57-35 (ШР4)	125	800
ВА 99М/63 (ЭП11)	16	64

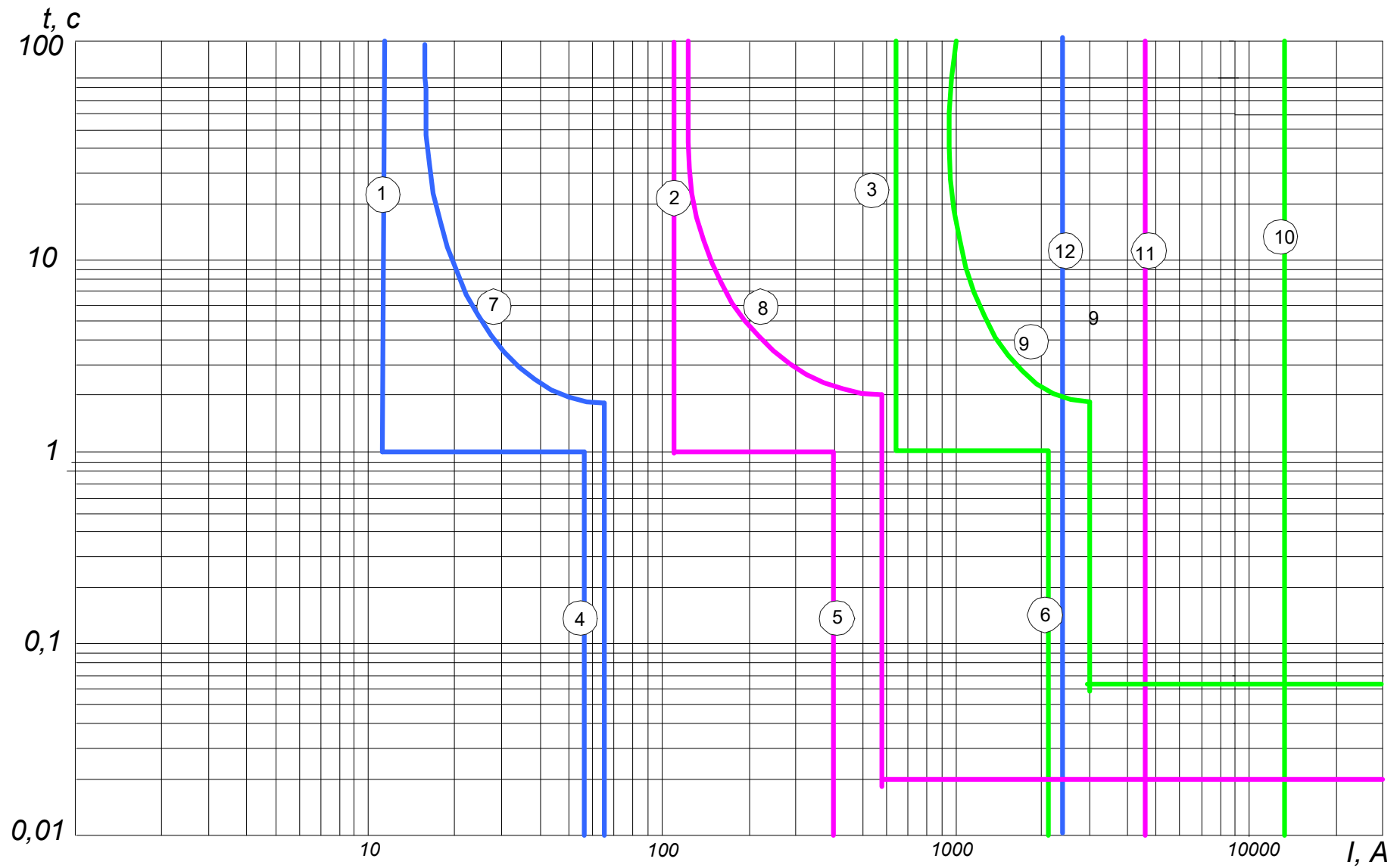


Рисунок 2.12 – Карта селективности аппаратов защиты в установках до 1000 В

На рисунке 2.12 приняты следующие обозначения:

- 1 – номинальный ЭП11;
- 2 – расчетный ток ШР4;
- 3 – расчетный ток РУНН;
- 4 – пусковой ток ЭП11;
- 5 – пиковый ток ШР4;
- 6 – пиковый ток РУНН;
- 7 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА99М/63 (ЭП);
- 8 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35 (ШР);
- 9 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА53-43 (РУНН);
- 10 – ток КЗ в точке К1;
- 11 – ток КЗ в точке К2;
- 12 – ток КЗ в точке К3.

2.16 Проверка цеховой сети 0,4 кВ по условию срабатывания защиты от однофазного КЗ

Проверка условия:

$$I_{\text{кз}}^{(1)} > 3 \cdot I_{\text{ном.расц}}$$

В случае возникновения однофазного КЗ, автомат, защищающий электроприемник, должен безотказно сработать.

Сведем результаты расчетов в таблицу 2.26.

Таблица 2.26 – Результаты расчетов токов короткого замыкания

Точка КЗ	$I_{\text{кз}}^{(1)}$, кА	$3 \cdot I_{\text{ном.расц}}$, кА
К1	5,44	3,00
К2	1,18	0,375
К3	0,93	0,048

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Общие сведения

Целью данной работы является составление сметы на проектирование электрической части цементного завода и расчет сметы затрат на электрооборудование механического цеха предприятия. Капитальные вложения в электрооборудование – это в первую очередь, стоимость электрооборудования и стоимость строительно-монтажных работ.

Смета – это документ, определяющий окончательную и предельную стоимость реализации проекта. Смета служит исходным документом капитального вложения полного объема необходимых работ.

Исходными материалами для определения сметной стоимости строительство объекта служат данные проекта по составу оборудования, объему строительно-монтажных работ; прейскуранты цен на оборудование и строительные материалы; нормы и расценки на строительно-монтажные работы; тарифы на перевозку грузов; нормы накладных расходов и другие нормативные документы. Решение о проектировании электроснабжения принимается на основе технико-экономического обоснования. На основе утвержденного ТЭО заказчик заключает договор с проектной организацией на проектирование и выдает ей задание, которое содержит:

1. Ген план предприятия;
2. Расположение источника питания;
3. Сведения об электрических нагрузках;
4. План размещения электроприемников в корпусах;
5. Площадь корпусов и все территории завода.

Различают две стадии проектирования:

- а) Технический проект;
- б) Рабочий чертеж.

Если проектируемый объект в техническом отношении не сложный, то обе стадии объединяются в одну – технорабочий проект.

3.1 Расчет затрат на проектирование систем электроснабжения цементного завода.

Для того, чтобы выполнить расчет затрат на проектирование электроснабжения объекта в срок при наименьших затратах средств, составляется план график, в котором рассчитывается поэтапная трудоемкость всех работ. После определения трудоемкости всех этапов темы, назначается число участников работы по этапам (таблица 3.1)

Таблица 3.1 – План разработки выполнения этапов проекта

№ п/п	Перечень выполняемых работ	исполнитель	Продолжительность, дн.
1	Ознакомление с производственной документацией. Постановка задачи работникам	Руководитель	3
		Инженер	3
2	Расчет электрических нагрузок по цеху	Инженер	8
3	Расчет электрических нагрузок по предприятию	Инженер	7
4	Построение картограммы нагрузок	Инженер	1
5	Выбор трансформаторов цеховых подстанций. Техничко-экономический расчет компенсирующих устройств	Инженер	4
6	Выбор трансформаторов ГПП. Техничко-экономический расчет схемы внешнего электроснабжения	Руководитель	1
		Инженер	5
7	Расчет внутривзаводской сети предприятия	Инженер	12
8	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.	Инженер	1
9	Выбор электрооборудования в сети 1000 В.	Инженер	2
10	Расчет схемы электроснабжения цеха	Руководитель	2
		Инженер	6
11	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В	Инженер	1
14	Расчет эпюры отклонений напряжения	Инженер	2
15	Составление расчетнопояснительной записки	Руководитель	2
		Инженер	22
16	Чертежные работы	Руководитель	2
		Инженер	20
	Итого по каждой должности	Руководитель	10
		Инженер	94
			104

Исполнитель	Календарные дни										Перечень выполняемых работ
	10	20	30	40	50	60	70	80	90		
Руководитель	■										Ознакомление с производственной документацией
			■								Выбор трансформаторов ГПП
				■							Расчет схемы электроснабжения цеха
					■						Составление расчетно-пояснительной записки
								■			Чертежные работы
Инженер	■										Ознакомление с производственной документацией
	■	■									Расчет электрических нагрузок цеха
		■	■								Расчет электрических нагрузок предприятия
			■	■							Построение картограмма нагрузок
				■	■						Выбор трансформаторов цеховых ТП
					■	■					Выбор трансформаторов ГПП
					■	■	■				Расчет внутривзаводской сети предприятия
						■	■				Расчет токов КЗ в сети выше 1000 В
							■	■			Выбор электрооборудования в сети выше 1000 В
								■	■		Расчет схемы электроснабжения цеха
									■	■	Расчет токов КЗ в сети до 1000 В
										■	Расчет эмпоры отклонения напряжений
								■	■	■	Составление расчетно-пояснительной записки
								■	■	Чертежные работы	

Рисунок 3.1 – Календарный план проекта

Смета на проектирование

Затраты на проектирование

$$K_{\text{пр}} = I_{\text{фзп}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{со}} + I_{\text{накл}} + I_{\text{пр}},$$

Где $K_{\text{пр}}$ – капитальные затраты;

$I_{\text{зп}}$ – издержки на заработную плату;

$I_{\text{ам}}$ – издержки на амортизацию;

$I_{\text{мат}}$ – издержки на материалы;

$I_{\text{накл}}$ – накладные издержки;

$I_{\text{пр}}$ – прочие затраты.

а) Издержки на заработную плату

$$I_{\text{фзп}} = I_{\text{зп рук}} + I_{\text{зп инж}}$$

$$I_{\text{зп рук}}^{\text{мес}} = ЗП * (K_{\text{рег}} + П + Н) K_{\text{отп}},$$

где $K_{\text{рег}} = 1,3$ – для Томской области;

$K_{\text{отп}} = 0,1$ – коэф. учитывающий отпуск;

$ЗП$ – оклад;

$П = 0,15$ – премия.

$Н = 0,2$ – надбавка.

$$I_{\text{зп рук}} = 300 * 20 = 6000 \text{ руб/мес}$$

$$I_{\text{зп инж}}^{\text{мес}} = 17000 * (1,3 + 0,15 + 0,2) * 1,1 = 30855 \text{ руб/мес}$$

$$\text{месяц} = 24 \text{ раб. дня} \rightarrow T_{\text{инж}} = \frac{94}{24} = 3,917$$

$$I_{\text{фзп}} = I_{\text{зп рук}} + I_{\text{зп инж}}^{\text{мес}} * T_{\text{инж}} = \\ = 6000 + 30855 * 3,917 = \mathbf{126859,03 \text{ руб}}$$

б) Издержки на материалы

Таблица 3.2 – Затраты на материалы

Материалы	Кол-во	Цена за ед.	сумма
	шт.	руб.	руб.
Флеш память	1	500	500
Картридж для принтера	1	2000	2000
Бумага для принтера	1	150	150
Канц. товары	1	200	200
Итого			2850

с) Издержки на амортизацию

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп}}}{T_{\text{год}}} * Ц * \frac{1}{T_{\text{лет}}},$$

где $T_{\text{исп}}$ – время использования оборудования;

$T_{\text{год}}$ – максимум использования в год;

$T_{\text{лет}}$ – срок службы;

Ц – цена.

$$T_{\text{год}} = 12 * 24 - 20 = 268 \text{ раб. дней}$$

$$I_{\text{ам комп рук}} = \frac{10}{268} * 20000 * \frac{1}{5} = 149,25 \text{ руб}$$

Аналогично рассчитаем и для используемых предметов.

Таблица 3.3 – Амортизационные расходы

оборудование	стоимость	Кол-во	$T_{\text{исп}}$	$T_{\text{исп}}$	$I_{\text{ам}}$
Компьютер руководителя	20000	1	10	5	149,25
Компьютер инженера	15000	1	94	5	1052,24
Принтер	5000	1	10	5	37,31
Стол руководителя	10000	1	10	7	53,30
Стул руководителя	5000	1	10	7	26,65
Стол инженера	5000	1	94	5	350,75
Стул инженера	2500	1	94	5	175,37
ИТОГО:					1844,9

d) Накладные издержки

Накладные расходы формируются из затрат на аренду, освещение, отопление помещений.

$$I_{\text{накл}} = I_{\text{фзп}} * 20\% = 126859,03 * 0,2 = \mathbf{25371,8} \text{ руб}$$

e) Затраты на соц. Обеспечение

$$I_{\text{со}} = I_{\text{фзп}} * 30\% = 126859,03 * 0,3 = \mathbf{38057,7} \text{ руб}$$

f) Прочие издержки (связь, реклама, налоги, страхование...)

$$I_{\text{пр}} = I_{\text{фзп}} * 10\% = 126859,03 * 0,1 = \mathbf{12685,9} \text{ руб}$$

Затраты на проектирование

$$\begin{aligned} K_{\text{пр}} &= I_{\text{фзп}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{со}} + I_{\text{накл}} + I_{\text{пр}} = \\ &= 126859,03 + 1844,9 + 2850 + 38057,7 + 25371,8 + 12685,9 = \\ &= \mathbf{207669,34} \text{ руб} \end{aligned}$$

3.2 Расчет затрат на электрооборудование механического цеха цементного завода.

Таблица 3.4 – Выбор трансформатора ТМ-2500

фирма	Цена,руб	качество	Доставка(час)	сумма
Электrozавод RU-TRANSFORMATOR	1014550/ 12,52/5,21 7	5/1,667	Екатеринбург (26ч)/0,2307	7,115
СПЕЦТРАНСПОСТАВКА	1118560/ 2,6/1,083	5/1,667	Екатеринбург (26ч)/0,2307	2,981
STELZ	990000/ 15/6,25	4/1,333	Тюмень(23ч)/ 0,2608	7,844
«УРАЛЭНЕРГОЦЕНТР»	1096000/ 4,3/1,7918	5/1,667	Челябинск(27ч) /0,2222	3,681
Важность(1-5)	5	4	3	
Вес	0,4167	0,3333	0,25	

Выбираем трансформатор ТМ-2500 фирмы «STELZ».

Смета затрат на электрооборудование рассматриваемого цеха

Оклад электромонтера 1р =9750 руб

Оклад электромонтера 2р=1,11*1р=10725 руб

Оклад электромонтера 3р=1,23*1р=11992,5 руб

Оклад электромонтера 4р=1,36*1р=13260 руб

Оклад электромонтера 5р=1,51*1р=14722,5 руб

Оклад электромонтера 5р=1,67*1р=16282,5 руб

Час 2р=(оклад 2р)/(28*8)=47,879 руб/ч

Час 3р=(оклад 3р)/(28*8)=53,538 руб/ч

Час 4р=(оклад 4р)/(28*8)=59,196 руб/ч

Час 5р=(оклад 5р)/(28*8)=65,725 руб/ч

Час 6р=(оклад 6р)/(28*8)=72,69 руб/ч

Монтаж ПР (Е23-7-20):

Установка с креплением болтами: (час4р+час2р)*0,93=99,579 руб

Присоединение проводов к автоматам (Е23-7-4):

Присоединение и подготовка: час5р*(2,8+0,54)=219,522 руб

Установка трансформаторов тм-2500 (ФЕРм 08-01-001-6):

(2638,62+3743,2+360,59+626,56)*8,72=64257,4 руб

Монтаж 2БКТП (ФЕРм 08-01-025-03):

(10110,62+12665,61+1015,92)*8,72=207467,548 руб

Монтаж кабеля в каналах (Е23-4-4):

АВВГ 4x50: (час5р+час3р+час2р)*2,6/100=4,43 руб/м

АВВГ 4x25: (час5р+час3р+час2р)*1,8/100=3,01 руб/м

АВВГ 4x16: (час5р+час3р+час2р)*1,8/100=3,01 руб/м

АВВГ 4x10: (час5р+час3р+час2р)*1,8/100=3,01 руб/м

АВВГ 4x4: (час5р+час3р+час2р)*1,8/100=3,01 руб/м

Таблица 3.5 – Смета затрат на электрооборудование механического цеха

№ п/п	Наименование оборудования	Ед. изм.	Кол-во	Сметная стоимость, тыс. руб.		Общая стоимость, тыс. руб.	
				оборудование	монтаж	оборудование	монтаж
1	2	3	4	5	6	7	8
1	АВВГ 4x4	км	0,04	34000	3010	1360	120,4
	АВВГ 4x10	км	0,026	66000	3010	1716	78,26
	АВВГ 4x16	км	0,033	93000	3010	3069	99,33
	АВВГ 4x25	км	0,047	154000	3010	7238	141,47
	АВВГ 4x50	км	0,02	272000	4430	5440	88,6
2	2БКТП 10/2500	шт	1	1103310	207468	1103310	207468
	ТМ-2500 10/0,4	шт	2	990000	64257,4	1980000	128514,8
3	ПР11-3086-31У3	шт	6	13613	99,58	81678	597,48
	ПР11-3084-31У3	шт	1	13613	99,58	13613	99,58
	ВА 99М/63 16А	шт	15	1965,23	219,52	29478,45	3292,8
	ВА 99М/63 20А	шт	2	2114,65	219,52	4229,3	439,04
	ВА 99М/63 32А	шт	5	2114,65	219,52	10573,25	1097,6
	ВА 99М/63 40А	шт	12	1965,23	219,52	23582,76	2634,24
	ВА 99М/63 50А	шт	11	2056,8	219,52	22624,8	2414,72
	ВА 99М/63 63А	шт	4	2095,21	219,52	8380,84	878,08
	ВА 99М/100 80А	шт	1	2056,8	219,52	2056,8	219,52
	ВА 57-35 80А	шт	3	3909,68	219,52	11729,04	658,56
	ВА 57-35 125А	шт	1	4151,24	219,52	4151,24	219,52
						3314230,48	349062

$$K = K_{\text{пр}} + K_{\text{об}} + K_{\text{мон}} = 207669,34 + 3314230,48 + 349062 = 3870961,82 \text{ руб}$$