

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Проектирование системы электроснабжения текстильного комбината</b> УДК 621.31.031.001.6:677.013

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3ДЗ	Бурибаев Жасуржон Нурдулла угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Обухов Сергей Геннадьевич	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ОПШ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова Вера Васильевна	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ОК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Уметь формулировать задачи в области <i>релейной защиты и автоматики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-3, ПК-6, ПК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Уметь проектировать <i>противоаварийную автоматику, релейную защиту</i> .	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-8, ПК-9–14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния релейной защиты и противоаварийной автоматики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС (ПК-6, ПК-38–44, ПК-51), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области релейной защиты и противоаварийной автоматики.	Требования ФГОС (ПК-14, ПК-16, ПК-20–21, ПК-37), <i>CDIO Syllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Иметь практические знания принципов и технологий релейной защиты и противоаварийной автоматики отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС (ПК-18, ПК-23–28, ПК-30, ПК-37, ПК-45, ПК-46–51), <i>CDIO Syllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-10, ОК-14, ПК-14, ПК-20, ПК-28, ПК-29, ПК-31), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-11, ОК-12, ОК-15, ПК-1, ПК-10, ПК-19, ПК-26), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-7, ПК-32, ПК-34), <i>CDIO Syllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3),

Код результата	Результат обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
		согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-7, ОК-9, ПК-4, ПК-35), <i>CDIO Syllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-5, ПК-21, ПК-22, ПК-36), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i> .	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-10, ОК-13, ОК-16, ПК-31, ПК-33), <i>CDIO Syllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП 13.03.02  
 \_\_\_\_\_ Шестакова В.В.  
 (подпись) (дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**бакалаврской работы**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А3ДЗ	Бурибаев Жасуржон Нурдулла угли

Тема работы:

«Проектирование системы электроснабжения текстильного комбината»	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	ИШЭ от 24.04.2018г. №2900/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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, энергозатрат; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Получены по материалам преддипломной практики:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Генплан предприятия</li> <li>2. План цеха</li> <li>3. Электрические нагрузки завода</li> <li>4. Типы и мощности электроприемников в цехе</li> </ol>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Общие сведения о предприятии</li> <li>2. Расчет электрических нагрузок</li> <li>3. Определение расчетных нагрузок предприятия в целом</li> <li>4. Картограмма нагрузок и центра электрических нагрузок</li> <li>5. Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов</li> <li>6. Схема внешнего электроснабжения</li> <li>7. Схема внутривозводской распределительной сети 10кВ</li> <li>8. Расчет токов кз выше 1000В и выбор</li> </ol>

<i>разработке; заключение по работе).</i>	коммутационных аппаратов 9. Выбор коммутационных аппаратов 10. Электроснабжение РМЦ 11. Построения эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП наиболее удалённого от цеховой ТП электроприёмника для режимов максимальной и минимальной нагрузок 12. Расчет токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до самого мощного электроприемника цеха (фрезерного станка)
<b>Перечень графического материала</b>	1. Генплан предприятия распределения электроэнергии 2. Картограмма нагрузок 3. Схема электрическая принципиальная ГПП 4. Схема силовой сети ремонтно-механического цеха 5. Электроснабжение ремонтно-механического цеха. Однолинейная схема 6. Эпюра отклонения напряжения
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент ОСГН, к.э.н., Фигурко А.А.
«Социальная ответственность»	Ассистент ОКД ИШНКБ, Ледовская А.М.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	18.03.2018г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Обухов С.Г	Доктор технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А3Д3	Бурибаев Ж.Н		

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроснабжение

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела
08.02.18	Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет нагрузок цеха.	10
22.02.18	Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок.	15
07.03.18	Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.	15
21.03.18	Выбор и проверка внутризаводских линий. Расчет потерь в КТП и внутризаводских линиях. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП. Выбор и проверка питающих линий ГПП.	10
28.03.18	Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутризаводских линий по токам КЗ.	5
04.04.18	Выбор и проверка высоковольтного оборудования	10
11.04.18	Выбор распределительных пунктов в сети ниже 1000В. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В. Выбор аппаратов защиты и построение карты селективности действия защитных аппаратов. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП.	10
15.05.18	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	15
18.05.18	Социальная ответственность.	10
Итого		100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Обухов С.Г.	Д.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа , 11 рис., 40 табл., 24 источника, 4 приложения.

Ключевые слова: расчетная нагрузка, картограмма нагрузок, выбор трансформаторов, компенсация, электроснабжение цеха, выбор оборудования, проверка оборудования, однолинейная схема, ресурсоэффективность, ресурсосбережение, социальная ответственность.

Объектом исследования является столярный цех текстильного комбината.

Цель работы: разработка системы электроснабжения промышленного предприятия.

В процессе исследования произведен выбор метода расчета на основе исходных данных, поэтапный расчет электрических нагрузок комбината и рассматриваемого цеха, выбор оборудования и его проверка при различных режимах работы.

В результате исследования была спроектирована конкретная модель электроснабжения промышленного предприятия, представлена ее техническая целесообразность и безопасность для окружающей среды.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: исследуемый комбинат состоит из пятнадцати цехов; напряжение питающей линии 110 кВ; рабочие напряжения внутри комбината: 0,4 кВ; схема внутрив заводской сети – радиальная.

Область применения: текстильный комбинат с нормальной- средой в производственных помещениях.

## Оглавление

РЕФЕРАТ .....	13
Введение.....	15
1. Объект и методы исследования.....	17
1.2 Характеристика среды производственных помещений текстильного. Категории электроприемников по бесперебойности электроснабжения .....	22
2. Расчеты и аналитика .....	24
2.1 Определение расчетной электрической нагрузки столярного цеха .....	24
2.2 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом .....	28
2.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок.....	31
2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций.....	35
2.4.1 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП напряжением 10/0,4 кВ.....	35
2.4.2 Расчет потерь мощности в трансформаторах.....	39
2.5 Система внешнего электроснабжения.....	45
2.6 Схема внутризаводского распределения сети 10 кВ .....	48
2.7 Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В. ....	53
2.8 Выбор высоковольтного оборудования .....	59
2.9 Электроснабжение кузнечного цеха.....	65
2.9.1 Распределение приёмников по пунктам питания.....	66
2.9.2 Выбор сечений питающей сети и силовой распределительной сети, аппаратов защиты и управления цеха.....	74
2.9.3 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В.....	77
2.9.4 Построения эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП наиболее удалённого от цеховой ТП электроприёмника для режимов максимальной и минимальной нагрузок .....	80
2.9.5 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети .....	88
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	91
3.1 Общие сведения .....	91
3.2 Планирование инженерного проекта .....	92
3.3 Смета затрат на проект .....	95
3.4 Формирование варианта оборудования.....	98
3.5 Смета затрат на электрооборудование .....	99
Заключение.....	100

## **Введение**

В данной выпускной квалификационной работе необходимо произвести расчет электроснабжения текстильного комбината. В качестве исходных данных были заданы установленные мощности цехов (электроприемники столярного цеха были заданы подробно, что позволило выполнить более точный расчет электрических нагрузок вышеупомянутого цеха), генплан комбината и генплан столярного цеха.

Целями данной ВКР являются:

1. Произвести расчет нагрузки столярного цеха.
2. Определить расчетные нагрузки предприятия в целом по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов с учетом расчетной нагрузки освещения цехов и территории предприятия.
3. На основе уже рассчитанных данных построить картограмму электрических нагрузок с целью определения места положения ГПП на территории предприятия.
4. Рассчитать схему внутриводского электроснабжения. Для этого выбирается число и мощности цеховых трансформаторных подстанций и проводники для их соединения и питания, а также потери в цеховых ТП и кабельных линиях
6. Рассчитать компенсацию реактивной мощности.
5. Разработать схему внешнего электроснабжения. В данный расчет входит выбор напряжения питающей завод сети, сечения проводов, выбор мощности трансформаторов ГПП. Все это проводится с учетом надежности

электроснабжения, то есть питающая линия – двухцепная, а ГПП представляет собой двухтрансформаторную подстанцию.

6. Рассчитать токи короткого замыкания в сети выше 1000 В для проверки правильности выбора сечений проводников и выбора устройств защиты цеховых ТП.

7. Произвести разработку сети до 1000 В, куда входит выбор токоведущих частей, распределение потребителей по пунктам питания, выбор распределительных пунктов. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В, выбор аппаратов защиты. Построения карты селективности действия защитных аппаратов, с помощью которой, в свою очередь, можно проверить правильность выбора защитных аппаратов и селективность их действия.

## 1. Объект и методы исследования

Объектом исследования является текстильный комбинат в целом и его кузнечный цех в частности. Исходными данными на проектирование являются генплан текстильного комбината (рисунок 1.1), сведения об электрических нагрузках текстильного комбината (таблица 1.1), генплан столярного цеха и сведения об электрических нагрузках столярного цеха (рисунок 1.2, таблица 1.2).

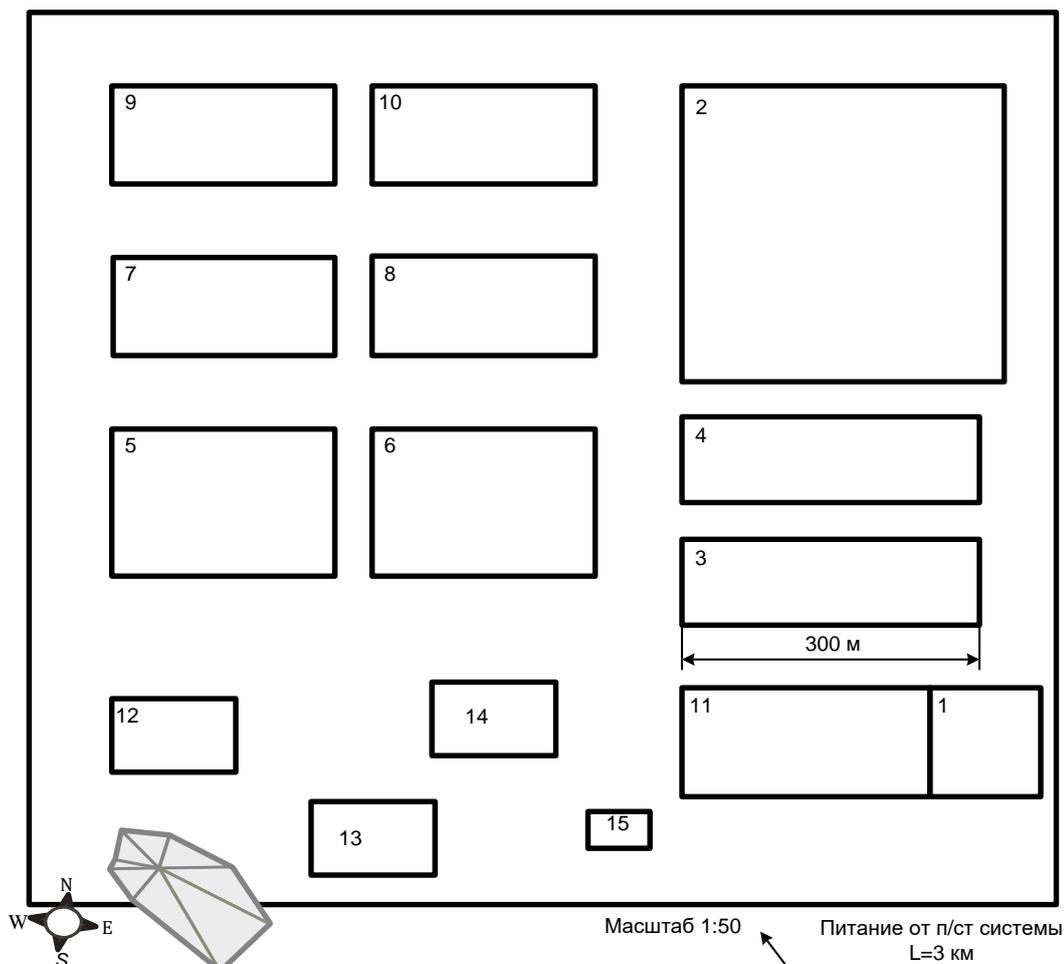


Рисунок 1.1 - Генплан текстильного комбината

Таблица 1.1 Сведения об электрических нагрузках

№ п/п	Наименование цеха	Установленная мощность цеха, кВт
1	Административный корпус	700
2	Холодный склад	250
3	Швейная фабрика	1390
4	Ткацкий	800
5	Сушильный	980
6	Красильный	850
7	Инструментальный	2500
8	Ремонтно-механический	1300
9	Столярный	-
10	Прядильный	1100
11	Гараж	100
12	Котельная	800
13	Насосная 0,38кВ 10кВ	120 (АД) 1260 (СД)
14	Лаборатория	300
15	Склад	125

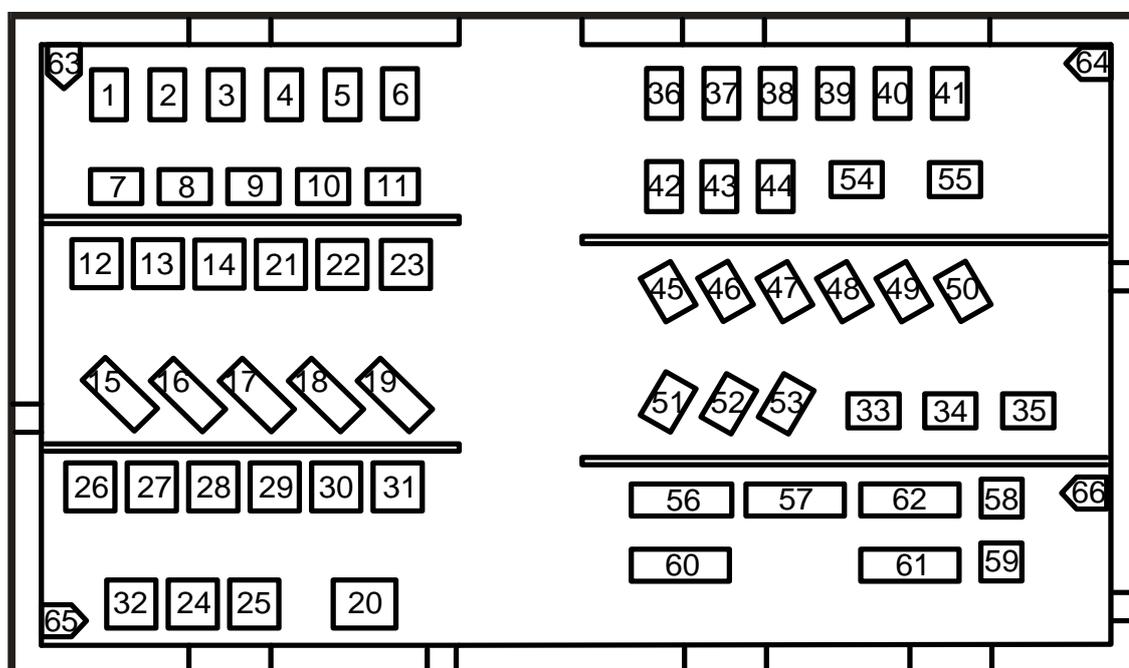


Рисунок 1.2 – Генплан столярного цеха

Таблица 1.2 Сведения об электрических нагрузках столярного цеха

№ п/п	Наименование электроприемника	Тип	Кол-во, шт	Установленная мощность ЭП, Руст, кВт
<b>Участок первичной машинной обработки массивной древесины</b>				
Поток переработки хвойных материалов				
1	Станок торцовочный	ЦПА-40	1	16,2
2	Станок однопильный круглопильный	Ц-6	1	12
3	Шипорезный станок	ШС-1	1	23,1
4	Пресс торцевого давления	ПС-3М	1	11,64
5	Станок фрезерный	Ф-130	1	22,5
6	Четырехсторонний строгальный станок	GS-523	1	46,5
Поток переработки пиломатериалов лиственных пород				
7	Станок торцовочный	ЦМЭ-3Б	1	12
8-9	Станок однопильный круглопильный	Ц-6	2	12
10	Станок фуговальный	СФ4-1А	1	12
11	Четырехсторонний строгальный станок	GS-623U	1	61,8
<b>Прессовый участок, промежуточная машинная обработка</b>				
12-13	Вайма веерная	МУ-4500-6В	2	13,2
14	Форматно-обрезной станок	-	1	15
15-17	Станок фуговальный	СФ4-1А	3	12
18-19	Станок рейсмусовый	S 630	2	22,5
20	Пресс гидравлический горячего отверждения	NPS6/120	1	81
21-22	Станок однопильный круглопильный	Ц-6	2	12
23	Станок фрезерный	Ф-130	1	22,5
<b>Участок обработки царг</b>				
24	Обрабатывающий центр	Rovez 24	1	62,7
25	Фрезерный станок	Ф-4	1	12
<b>Участок обработки ножек</b>				
26-27	Токарный полуавтомат	С1-1500	2	31,5
28-29	Ленточно-шлифовальный полуавтомат по копиру	Prisma	2	18
30-31	Токарный станок ручной	-	2	25,5
32	Фрезерный станок для декорирования ножек	-	1	12

Продолжение таблицы 1.2

<b>Участок раскроя листовых и плитных материалов</b>				
33	Форматно раскроечный станок	Robland	1	13,65
34	Форматно раскроечный станок	Formula S35	1	18,75
35	Круглопильный ламельный станок	MJ153	1	18,75
<b>Аксессуары</b>				
36	Фуговальный станок	СФ4-1А	1	12
37	Рейсмусовый станок	СР6-9	1	28,8
38	Универсальный станок (фрезерный, круглопильный)	-	1	15
39	Станок фрезерный с шипорезной кареткой	ФСШ	1	16,5
40	Станок круглопильный однопильный	Ц-6	1	12
41	Колибровально-шлифовальный станок	-	1	24
42	Ленточно-шлифовальный полуавтомат по копиру	-	1	18
43	Ленточно-шлифовальный станок	ШЛПС	1	12
44	Токарный станок	-	1	12
<b>Участок изготовления бортов</b>				
45	Станок сверлильно-присадочный восьмишпинд.		1	18
46	Станок фрезерный	-	1	18
47-49	Колибровально-шлифовальный станок	SR-P400	3	27
50-51	Станок ленточно-шлифовальный	ШЛПС	2	12
52	Станок для усовой торцовки		1	21
53	Станок фуговальный	СФ4-1А	1	12
<b>Участок раскроя гофрокартона</b>				
54-55	Станок однопильный круглопильный	Ц-6	2	12
<b>Сборочный участок</b>				
56	Станок кромкооблицовочный		1	24
57	Станок фуговальный	Elektra beckum	1	9
<b>Отделение наклеивания пластика на борта</b>				
58	Постфоринг	-	1	9
59	Станок круглопильный	-	1	12

Продолжение таблицы 1.2

<b>Отделочный участок</b>				
60-61	Кабина распылительная	MF9240E	2	18
62	Кабина распылительная	MF9230E	1	15,6

63-66	Вентилятор		4	12
-------	------------	--	---	----

## 1.2 Характеристика среды производственных помещений текстильного. Категории электроприемников по бесперебойности электроснабжения

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается электроснабжение текстильного комбината. В целом завод состоит из 15 производственных помещений, к которым относятся производственные и вспомогательные цеха, а так же заводоуправление.

Характеристики внешней среды (температура, влажность, наличие взрыво- или пожароопасных зон) могут влиять не только на конструктивное исполнение оборудования, но и на выбор марок и сечений проводов, кабелей и защитной аппаратуры. Производственный процесс на проектируемом заводе характеризуется нормальными условиями, но некоторые из отделений цехов комбината могут быть отнесены к жарким и влажным помещениям, а так же к помещениям с химически активной средой. Характеристика среды основных производственных помещений по цехам текстильного комбината представлена в таблице 3.

Перерыв электроснабжения электроприемников основного производства комбината электротехнической промышленности может привести к массовому недоотпуску продукции и простоем людей, поэтому электроприемники основного производства можно отнести ко второй категории. Вспомогательные цеха и подразделения, прямо не участвующие в создании продукции предприятия, можно отнести к третьей категории. Классификация основной доли электроприемников текстильного комбината по бесперебойности электроснабжения приведена в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Характеристика внешней среды производственных помещений и категории электроприемников по степени бесперебойности

№	Наименование цеха	Характеристика среды	Категория электроснабжения	Установленная мощность цеха, кВт
1	Административный корпус	нормальная	III	700
2	Холодный склад	нормальная	III	250
3	Швейная фабрика	нормальная	III	1390
4	Ткацкий	нормальная	III	800
5	Сушильный	жаркая	III	980
6	Красильный	сырая	II	850

Продолжение таблицы 1.3

7	Инструментальный	нормальная	III	2500
8	Ремонтно-механический	нормальная	III	1300
9	Столярный	нормальная	III	-
10	Прядильный	нормальная	III	1100
11	Гараж	нормальная	II	100
12	Котельная	жаркая	II	800
13	Насосная	сырая	II	120 (АД) 1260 (СД)
14	Лаборатория	нормальная	III	300
15	Склад	нормальная	III	125

Как видно из таблицы 1.3, в рассматриваемом столярном цехе под номером 9 на генплане среда нормальная и большинство электроприемников относятся ко III категории по надежности электроснабжения.

## 2. Расчеты и аналитика

### 2.1 Определение расчетной электрической нагрузки столярного цеха

Все электроприёмники разделим на две группы:

- Группа А – ЭП с переменным графиком нагрузки  $K_u < 0,6$
- Группа Б – ЭП с практически постоянным графиком нагрузки  $K_u \geq 0,6$

Таблица 2.1. Справочные данные для ЭП столярного цеха

№ п\п	Наименование ЭП	$K_u$	$\cos\varphi$	$P_n$ , кВт
1	Станок торцовочный	0.14	0.6	16.2
2	Станок однопильный круглопильный	0.14	0.6	12
3	Шипорезный станок	0.14	0.6	23.1
4	Пресс торцевого давления	0.25	0.65	11.64
5	Станок фрезерный	0.14	0.6	22.5
6	Четырехсторонний строгальный станок	0.3	0.6	46.5
7	Станок торцовочный	0.14	0.6	12
8-9	Станок однопильный круглопильный	0.14	0.6	12
10	Станок фуговальный	0.14	0.6	12
11	Четырехсторонний строгальный станок	0.3	0.6	61.8
12-13	Вайма веерная	0.65	0.8	13.2
14	Форматно-обрезной станок	0.14	0.6	15
15-17	Станок фуговальный	0.14	0.6	12
18-19	Станок рейсмусовый	0.14	0.6	22.5
20	Пресс гидравлический горячего отверждения	0.25	0.65	81
21-22	Станок однопильный круглопильный	0.14	0.6	12
23	Станок фрезерный	0.14	0.6	22.5
24	Обрабатывающий центр			62.7
25	Фрезерный станок	0.14	0.6	12
26-27	Токарный полуавтомат	0.14	0.6	31.5
28-29	Ленточно-шлифовальный полуавтомат по копиру	0.14	0.6	18
30-31	Токарный станок ручной	0.14	0.6	25.5
32	Фрезерный станок для декорирования ножек	0.14	0.6	12
33	Форматно раскроечный станок	0.14	0.6	13.65
34	Форматно раскроечный станок	0.14	0.6	18.75
35	Круглопильный ламельный станок	0.14	0.6	18.75
36	Фуговальный станок	0.14	0.6	12
37	Рейсмусовый станок	0.14	0.6	28.8

Продолжение таблицы 2.1

38	Универсальный станок (фрезерный, круглопильный)	0.14	0.6	15
39	Станок фрезерный с шипорезной кареткой	0.14	0.6	16.5
40	Станок круглопильный однопильный	0.14	0.6	12
41	Колибровально-шлифовальный станок	0.14	0.6	24
42	Ленточно-шлифовальный полуавтомат по копиру	0.14	0.6	18
43	Ленточно-шлифовальный станок	0.14	0.6	12
44	Токарный станок	0.14	0.6	12
45	Станок сверлильно-присадочный восьмишпинд.	0.14	0.6	18
46	Станок фрезерный	0.14	0.6	18
47-49	Колибровально-шлифовальный станок	0.14	0.6	27
50-51	Станок ленточно-шлифовальный	0.14	0.6	12
52	Станок для усовой торцовки	0.14	0.6	21
53	Станок фуговальный	0.14	0.6	12
54-55	Станок однопильный круглопильный	0.14	0.6	12
56	Станок кромкооблицовочный	0.14	0.6	24
57	Станок фуговальный	0.14	0.6	9
58	Постфоринг	0.75	0.95	9
59	Станок круглопильный	0.14	0.6	12
60-61	Кабина распылительная	0.65	0.8	18
62	Кабина распылительная	0.65	0.8	15.6
63-66	Вентилятор	0.7	0.8	12

\*данные таблицы были приняты, согласно справочной литературе [8, табл. П2.1]

Полная расчетная нагрузка цеха с учетом освещения определяется:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + Q_p^2} \quad (1)$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ти}}} \quad (2)$$

Для группа А:  $m > 3$ ,  $k_u < 0,2$ , эффективное число ЭП определяется с помощью кривых или таблицы.

Тогда  $n_s = 31$

$F_{\text{ц}} = 100 \times 48 = 4800 \text{ м}^2$ ;  $k_{c.o} = 0.85$ ;  $P_{\text{уд.o}} = 0.015 \text{ кВт/м}^2$ ;

$P_{\text{ном.o}} = P_{\text{уд.o}} \cdot F_{\text{ц}} = 0.015 \cdot 4800 = 72 \text{ кВт}$ ;

$P_{p.o} = P_{\text{ном.o}} \cdot k_{c.o} = 72 \cdot 0.85 = 61.2 \text{ кВт}$ ;

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + Q_p^2} = \sqrt{(375.62 + 31.2)^2 + 318.95^2} = 540.8 \text{ кВА};$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн}}} = \frac{540.8}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 822.7 \text{ А.}$$

Расчёты систематизируем в виде таблицы 2.2, представленной ниже.

Таблица 2.2  
Расчетная  
нагрузка  
столярного  
цеха

№ ЭП	Наименование узлов питания и групп электроприемников	Количество ЭП	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		m=Рнmax/Рнmin	Коэффициент использования Ки	Cosφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число электроприемников ЭП	Коэффициент максимума Км	Максимальная нагрузка			Im/
			Одного ЭП Рн, кВт	Общая Рн, кВт				Рсм=Ки*Рн,кВт	Qсм=Рсм*tgφ,кВар			Рм=Км*Рсм,кВт	Qм=1,1*Qсм кВар при пэф<10	Sм= Рм + Qм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>Группа А:</b>														
1	Станки разные	48	9-31.5	882.8		0.14	0.6	123.59	164.78						
2	Прессы	3	11.64-81	155.3		0.25	0.65	38.84	45.40						
3	Четырехсторонний строгальный станок	2	46.5-61.8	108.3		0.30	0.6	32.49	43.32						
	<b>Итого по группе А</b>	55	9-81	1146.4	m>3	0.15		194.91	253.50	31	1.46	284.57	253.50		
	<b>Группа Б:</b>														
5	Вайма, Кабины распылительные	5	13.2-18	78		0.65	0.8	50.70	38.02						
6	Вентиляторы	4	12	48		0.7	0.8	33.60	25.20						
7	Постфоринг	1	9	9		0.75	0.95	6.75	2.22						
	<b>Итого по группе Б:</b>	10	9-18	135				91.05	65.44		1	91.05	65.44		
	<b>Итого по цеху без освещения</b>	65	9-81	1281.4				285.96	318.94			375.62	318.95		
	Осветительная нагрузка			72		Кс=0,85		61.2				61.2			
	Всего с учетом освещения			1353.4				220.48	228.95			436.82	318.95	540.8	822.7

## 2.2 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом

Расчётная полная мощность предприятия определяется по расчётным активным и реактивным нагрузкам цехов (до и выше 1 000В) с учётом расчётной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и ГПП и потерь в высоковольтных линиях.

Расчётная нагрузка (активная и реактивная) силовых приёмников цехов определяются из выражений:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $P_p$  – суммарная установленная мощность всех приёмников цеха;

$K_c$  – коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным;

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

Приёмники напряжением выше 1 000В учитываются отдельно.

Расчётная активная и реактивная мощности групп приёмников выше 1 000В определяются по выше приведённым формулам. Пример расчетов для административного корпуса:

Пример расчета для Административного корпуса:

$$P_p = K_c \cdot P_n = 0,7 \cdot 700 = 490 \text{ кВт};$$
$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 490 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,75) = 367,5 \text{ кВАр}.$$

Приемники напряжением выше 1000 В учитываем отдельно (исходные данные табл. 2.2.1, поз. 13, электроприемники 10 кВ).

$$P_p^e = K_c \cdot P_n = 0,7 \cdot 1260 = 882 \text{ (кВт)}$$

$$Q_p^e = 899,6 \text{ (кВАр)}.$$

Определяется полную расчетную нагрузку предприятия:

$$\Sigma P_p^H = 7009,6 \text{ кВт}$$

$$\Sigma Q_p^H = 6170,6 \text{ кВАр}$$

$$\Sigma P_{po} = 1175,4 \text{ кВт}$$

ЭП выше 1000 В:

$$\Sigma P_p^B = 882 \text{ кВт}$$

$$\Sigma Q_p^B = 899,6 \text{ кВАр}$$

Так как трансформаторы цеховых подстанций (ТП) еще не выбраны, то приближенно потери мощности определяются из следующих соотношений:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 10290 = 205,8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 1247 = 125 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P_n = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 10290 = 308,7 \text{ кВт};$$

$$S_p^H = \sqrt{(\Sigma P_p^H + \Sigma P_{po})^2 + \Sigma Q_p^{H2}} = \sqrt{(7009,6 + 1175,4)^2 + 6170,6^2} = 10290,6 \text{ кВА}$$

Результаты расчетов по определению расчетной нагрузки предприятия в целом приведены в таблице 2.2.1.

Таблица 2.2.1 Определение расчетных осветительных нагрузок предприятия в целом

№ це ха	Наименованиепотребителя	Силовая нагрузка					Осветительная нагрузка					Расчетная нагрузка		
		P <sub>ном</sub> кВт	k <sub>c</sub>	cos φ / tg φ	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВАр	F, м <sup>2</sup>	P <sub>уд.</sub> , кВт/м <sup>2</sup>	P <sub>н.о.</sub> , кВт	k <sub>c.о</sub>	P <sub>p.о.</sub> , кВт	P <sub>p</sub> +P <sub>p.о.</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВАр	S <sub>p</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Потребители электроэнергии 0,38 кВ</b>														
1	Административный корпус	700	0.7	0,8/0,75	490	367.5	2912	0.015	43.6	0.9	39.3	529.31	367.5	644.38
2	Холодный склад	250	0.6	0,9/0,48	150	72	22400	0.016	358.	0.6	215.	365.04	72	372.07
3	Швейная фабрика	1390	0.8	0,75/0,88	1112	978.56	5920	0.015	88.8	0.85	75.4	1187.48	978.56	1538.73
4	Ткацкий	800	0.8	0,75/0,88	640	563.2	5920	0.015	88.8	0.85	75.4	715.48	563.2	910.55
5	Сушильный	980	0.8	0,75/0,88	784	689.92	9600	0.015	144.	0.85	122.	906.40	689.92	1139.10
6	Красильный	850	0.6	0,8/0,75	510	382.5	9600	0.015	144.	0.85	122.	632.40	382.5	739.08
7	Инструментальный	2500	0.8	0,6/1,33	216	287.28	5820	0.015	87.3	0.85	74.2	290.21	287.28	408.35
8	Ремонтно-механический	1300	0.8	0,7/1,02	1040	1060	5820	0.015	87.3	0.85	74.2	1114.21	1040	1524.16
9	Столярный	1281	---	---	375.6	318.9	4800	0.015	72.	0.85	61.2	436.80	318.90	540.82
10	Прядильный	1100	0.75	0,8/0,75	825	618.75	5820	0.015	87.3	0.85	74.2	899.21	618.75	1091.52
11	Гараж	100	0.6	0,8/0,75	60	45	6720	0.015	100.	0.85	85.6	145.68	45	152.47
12	Котельная	800	0.6	0,7/1,02	480	490	2560	0.015	38.4	0.85	32.6	512.64	490	702.28
13	Насосная	120	0.6	0,7/1,02	72	73	2560	0.015	38.4	0.85	32.6	104.64	73	127.02
14	Лаборатория	300	0.6	0,7/1,02	180	183,6	2560	0.02	51.2	0.9	46.1	226.08	183,6	288.98
15	Склад	125	0.6	0,7/1,02	75	76,5	640	0.016	10.2	0.6	6.14	81.14	76,5	110.50
	Территория завода	---	---	---	---	---	239200	0.0016	38.2	1	38.2	38.27	---	76.31
	<b>ИТОГО</b>	<b>12596</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>7009.6</b>	<b>6170.6</b>	<b>53652</b>	<b>---</b>	<b>1479</b>	<b>---</b>	<b>1175</b>	<b>8185</b>	<b>6170.6</b>	<b>---</b>
<b>Потребители электроэнергии 10 кВ</b>														
13	Насосная (СД)	1260	0.7	0.9/0,48	882		---	---	---	---	---	882	899,6	1259.84
	<b>ИТОГО</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>882</b>		<b>---</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>---</b>	<b>882</b>	<b>899,6</b>	<b>1259.84</b>

## 2.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Для упрощения процедуры определения мест расположения ГПП, РП, а также цеховых ТП, на генплане предприятия изображаем нагрузки цехов в виде картограммы электрических нагрузок. Картограмма представляет собой графическое изображение нагрузок цехов, в виде окружностей, площади которых соответствуют, в выбранном масштабе, расчетным нагрузкам.

На промышленных предприятиях, в том числе и на проектируемом текстильном комбинате, предполагается полная, автоматическая компенсация реактивной мощности до нормативного коэффициента мощности энергосистемы на всех уровнях электроснабжения. Следовательно, при построении картограммы, реактивные нагрузки можно не учитывать.

Центры электрических нагрузок отдельных цехов с распределенной нагрузкой будем определять исходя из того, что, в пределах цеха электрическая нагрузка распределена равномерно по его площади. Тогда, центр электрических нагрузок отдельного цеха будет совпадать с центром масс плоской фигуры, изображающей цех на генплане.

Значения расчётных силовых и осветительных нагрузок цехов принимаем по таблице 2.2.1 и заносим их значения в таблицу 2.3.1. Так же в таблицу 2.3.1 заносим значения координат центров нагрузки цехов, определенных по генплану.

Для отображения на картограмме нагрузок цехов рассчитаем радиус окружностей для каждого из цехов  $r_i$ , мм как

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{p.i} + P_{p.o.i}}{\pi \cdot m}},$$

где  $m$  – масштаб для определения площади круга,

принимаем  $m = 1 \text{ кВт/мм}^2$ .

Отделим в окружностях сектора, относящиеся к осветительной нагрузке сектором с углом  $\alpha_i$ , градусы, определяемым по формуле

$$\alpha_i = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o.i}}{P_{p.i} + P_{p.o.i}}$$

Из генплана определим координаты нагрузок цехов как координаты середины цеха. Полученные  $x_i$  и  $y_i$  занесем в таблицу 2.3.1.

Координаты центра электрических нагрузок:

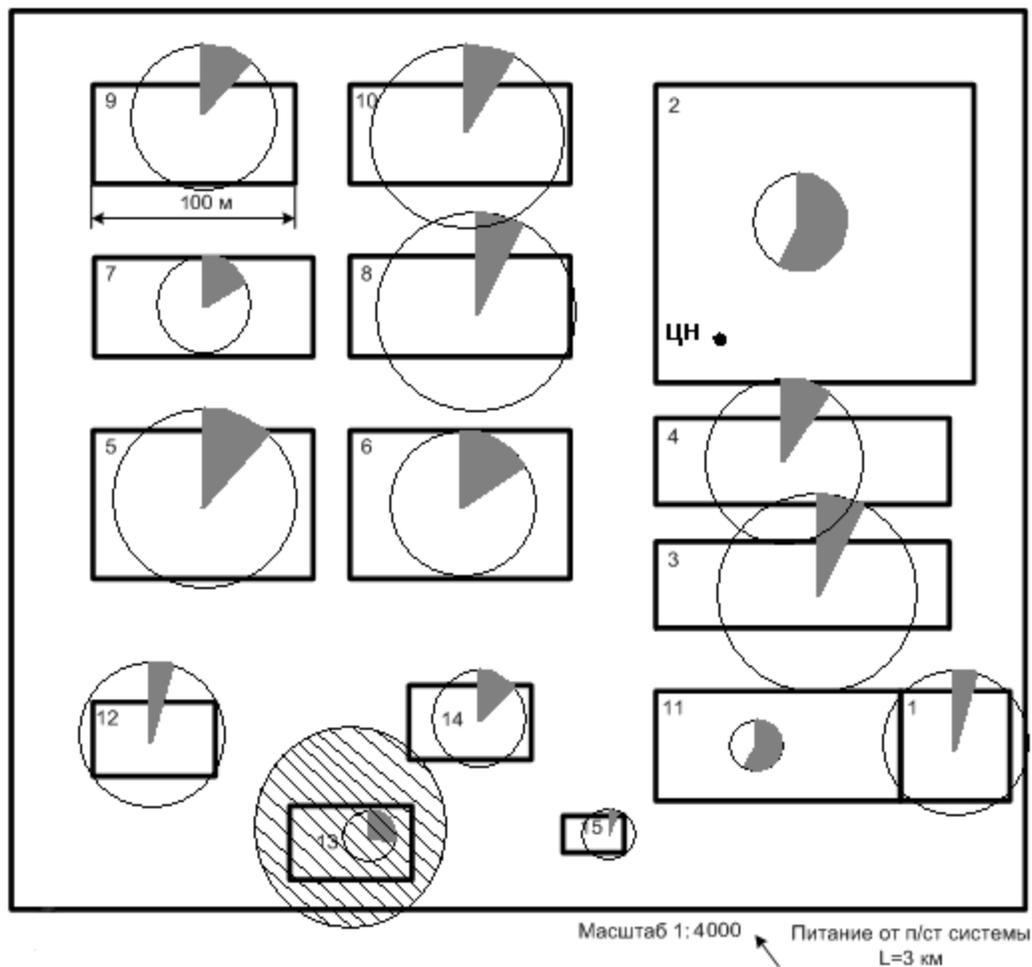
$$x_0 = \frac{\sum S_{pi} x_i}{\sum S_{pi}} = \frac{1939244}{10290} = 188;$$

$$y_0 = \frac{\sum S_{pi} y_i}{\sum S_{pi}} = \frac{973307}{10290} = 94.$$

Таблица 2.3.1 Расчётные данные для построения картограммы нагрузок

№ цеха на ген. плане	$S_p$ , кВА	$P_{p.o.}$ , кВт	$r$ , мм	$\alpha$ , град	$X$ , мм	$Y$ , мм	$S_p \cdot X$ , кВА·мм	$S_p \cdot X$ , кВА·мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Потребители 0,38 кВ								
1	644.38	39.3	14.33	21.96	112	154	72170.56	99234.52
2	372.07	215	10.89	208.03	48	154	17859.36	57298.78
3	1538.73	75.4	22.14	17.64	238	154	366217.7	236964.4
4	910.55	75.4	17.03	29.81	252	78	229458.6	71022.9
5	1139.1	122	19.05	38.56	125	78	142387.5	88849.8
6	739.08	122	15.34	59.43	76	42	56170.08	31041.36
7	408.35	74.2	11.40	65.41	37	42	15108.95	17150.7
8	1524.16	74.2	22.03	17.53	158	24	240817.3	36579.84
9	540.82	61.2	13.12	40.74	175	154	94643.5	83286.28
10	1091.52	74.2	18.64	24.47	194	24	211754.9	26196.48
11	152.47	85.6	6.97	202.11	194	24	29579.18	3659.28
12	702.28	32.6	14.96	16.71	194	24	136242.3	16854.72
13	127.02	32.6	6.36	92.39	194	24	24641.88	3048.48
14	288.98	46.1	9.59	57.43	194	24	56062.12	6935.52
15	110.5	6.14	5.93	20.00	252	28	27846	3094
Потребители 10 кВ								
13	1259.84	---	19.93	---	175	154	218284.5	192090.4
Итого	11537.35	---	---	---	---	---	1939244	973307.4

Как видно из рисунка 2.3.1. ГПП расположили на территорию, возле цеха №13, ближе к питающей линии, так как возможно расположить ГПП в точке ЦЭН.



\*Масштаб электрических нагрузок для цехов 1-5 равен  $m=1/5$ , остальных цехов  $m=1/3$

Рисунок 2.3.1 - Картограмма нагрузок и ЦЭН

## 2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

### 2.4.1 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП напряжением 10/0,4 кВ

Определяющими факторами при выборе числа и мощности трансформаторов ТП 10/0,4 кВ являются критерии надежности, затраты на питающую сеть 0,4 кВ, потери мощности в этой сети и в трансформаторах, затраты на компенсацию реактивной мощности и строительную часть ТП. Для точного учета перечисленных факторов необходимо выполнять технико-экономические расчеты предполагаемых схем электроснабжения завода.

Количество цеховых ТП непосредственно влияет на затраты на распределительные устройства напряжением 10 кВ и внутризаводские и цеховые электрические сети. Так, при уменьшении числа ТП (т. е. при увеличении их единичной номинальной мощности) уменьшается число ячеек РУ, суммарная длина линий и потери электроэнергии и напряжения в сетях 10 кВ, но возрастает стоимость сетей напряжением 0,4 кВ и потери в них. Увеличение числа ТП, наоборот, снижает затраты на цеховые сети, но увеличивает число ячеек РУ 10 кВ и затраты на сети напряжением 10 кВ. При некотором количестве трансформаторов с номинальной мощностью  $S_{\text{ном т}}$  можно добиться минимума приведенных затрат при обеспечении заданной степени надежности электроснабжения. Такой вариант будет являться оптимальным, и его следует рассматривать как окончательный.

Номинальные мощности трансформаторов ( $S_{\text{ном т}}$ ) определяются плотностью нагрузки цехов и выбираются, как правило, одинаковыми для всей группы цехов, исходя из рациональной их загрузки в нормальном режиме и с учетом резервирования в послеаварийном режиме.

Ориентировочно выбор номинальной мощности цеховых трансформаторов производится по удельной плотности нагрузки  $\sigma$ ,  $\frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}$$

где  $S_p$  – суммарная мощность предприятия;

$F_{ц}$  – площадь всех цехов предприятия.

$$\sigma = \frac{1290}{53652} = 0,2 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}.$$

Для данной плотности нагрузки рекомендуемая номинальная мощность трансформаторов  $S_{\text{ном т}}=1600$  кВА.

Минимальное число трансформаторов цеховых ТП определяется по формуле:

$$N_{\min} = \frac{\Sigma(P_p^H + P_{po})}{\beta_T S_{\text{нтр}}};$$

$$N_{S_{\text{н.тр}}=1600}^{\min} = \frac{7009+1175.4}{0,7 \cdot 1600} = 7,3;$$

При принятом числе трансформаторов:

$S_{\text{ном т}}=1600$ кВА  $N=8$  удастся обеспечить безопасность по электро-снабжению.

Пример расчета.

Определяем активную нагрузку на один трансформатор номиналом  $S_{\text{ном т}} = 1600$  кВА

$$P_1 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{N} = \frac{7009 + 1175.4}{8} = 1023,05 \text{ (кВт)}.$$

Число трансформаторов, которое следует установить в том или ином цехе рассчитываются по формуле:

$$N_i = \frac{P_{pi} + P_{poi}}{P_1},$$

$$N_1 = \frac{P_{p1} + P_{po1}}{P_1} = \frac{529}{1023,05} = 0,517$$

*Количество трансформаторов в цехе:*

$$n_i = \frac{(P_p + P_{p.o})_i}{P_1}$$

Итак, по цехам, соответственно номеру:

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{529}{1023,05} = 0,52 & n_6 &= \frac{632}{1023,05} = 0,61 & n_{11} &= \frac{145}{1023,05} = 0,14 \\ n_2 &= \frac{365}{1023,05} = 0,36 & n_7 &= \frac{290}{1023,05} = 0,28 & n_{12} &= \frac{512}{1023,05} = 0,5 \\ n_3 &= \frac{1187}{1023,05} = 1,16 & n_8 &= \frac{1114}{1023,05} = 1,09 & n_{13} &= \frac{104}{1023,05} = 0,1 \\ n_4 &= \frac{715}{1023,05} = 0,7 & n_9 &= \frac{436}{1023,05} = 0,42 & n_{14} &= \frac{226}{1023,05} = 0,22 \\ n_5 &= \frac{906}{1023,05} = 0,9 & n_{10} &= \frac{899}{1023,05} = 0,88 & n_{15} &= \frac{81}{1023,05} = 0,08 \end{aligned}$$

Проверка:

$$\sum n_i = 0,52 + 0,36 + 1,16 + 0,7 + 0,9 + 0,61 + 0,28 + 1,09 + 0,42 + 0,88 + 0,14 + 0,5 + 0,1 + 0,22 + 0,08 = 7,44 \approx 8$$

Параметры выбранного трансформатора цеховых ТП сводим в таблицу 2.4.2.

Выбираем трансформаторы двухобмоточные масляные типа ТМЗ-1600/10/0,4 [3].

Таблица 2.4.1 Параметры трансформаторов цеховых ТП

Тип трансформатора	Sном, кВА	Уном обмоток, кВ		Uк, %	Pкз, кВт	Pхх, кВт	Iх, %	Схема и группа соединения обмоток
		ВН	НН					
ТМЗ-1600/10-У1	1600	10	0,4	6,0	16,5	2,65	1,0	Δ-Y <sub>0</sub> -11

На плане предприятия обозначаем места расположения цеховых ТП .

Трансформаторы подстанций запитаны от разных секций РУ 10 кВ ГПП.

Таблица 2.8 – Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

Наименование пункта питания	Потребители электроэнергии	Место расположения пункта питания на генплане	Кол-во и мощность трансформаторов
ТП-2	Цех 2,5,10	Цех 2	2x1600 кВА
ТП-3	Цех 3,4,11	Цех 3	2x1600 кВА
ТП-6	Цех 6, 12, 13, 14, 1, 15	Цех 6	2x1600 кВА
ТП-8	Цех 8, 7, 9	Цех 8	1x1600 кВА

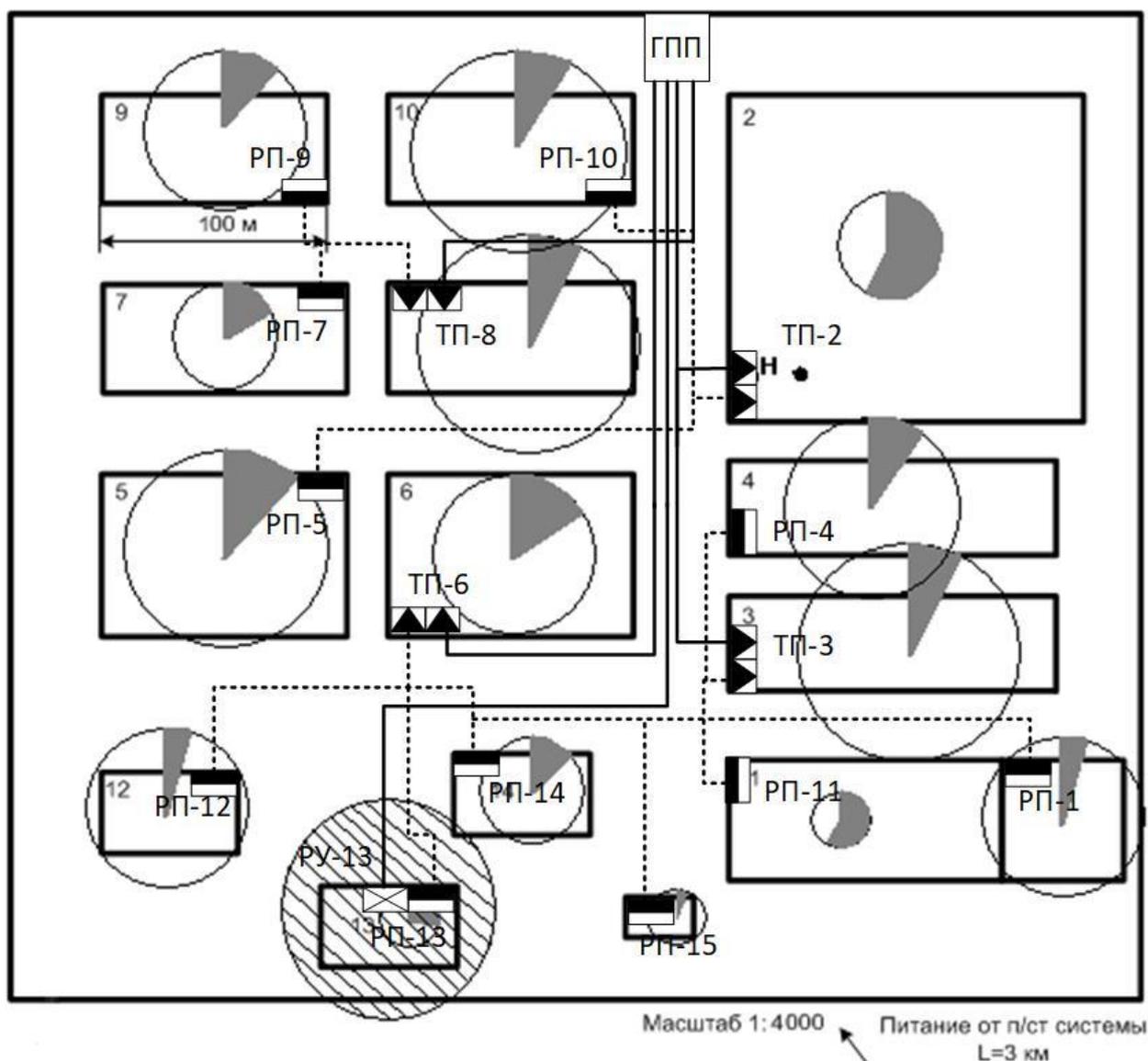


Рисунок 2.4.1 – Генплан завода с картограммой электрических нагрузок и расположением ГПП

## 2.4.2 Расчет потерь мощности в трансформаторах

Потери мощности в трансформаторе разделяются на постоянные и переменные. К постоянным потерям относят потери холостого хода  $\Delta P_{xx}$  и  $\Delta Q_{xx}$ , а к переменным относят потери на нагрев обмоток и рассеяние магнитного потока  $\Delta P_{кз}$  и  $\Delta Q_{кз}$ .

В общем виде потери полной мощности в трансформаторах  $\Delta S_{тр}$ , кВА можно записать как

$$\Delta S_{тр} = \sqrt{\Delta P_{тр}^2 + \Delta Q_{тр}^2};$$

где  $\Delta P_{тр}$  и  $\Delta Q_{тр}$  – потери активной и реактивной мощности трансформатора соответственно.

Потери активной мощности при отдельно работающих  $n$  однотипных трансформаторах  $\Delta P_{тр}$ , кВт определяются как

$$\Delta P_{тр} = n \cdot \Delta P_{xx} + n \cdot \Delta P_{кз} \cdot \beta_{тр}^2;$$

где  $\Delta P_{xx}$  – потери активной мощности на холостой ход, кВт,

принимается по справочным данным в зависимости от мощности для трансформатора ТМЗ по каталогу[4];

$\Delta P_{кз}$  – активные потери короткого замыкания, кВт

принимается по справочным данным в зависимости от мощности для трансформатора ТМЗ по каталогу[4].

Потери реактивной мощности при отдельно работающих  $n$  однотипных трансформаторах  $\Delta Q_{тр}$ , кВАр определяются как

$$\Delta Q_{тр} = n \cdot \Delta Q_{xx} + n \cdot \Delta Q_{кз} \cdot \beta_{тр}^2;$$

где  $\Delta Q_{xx}$  – потери реактивной мощности на холостом ходу, кВАр

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx} \cdot S_{ном\ T}}{100};$$

где  $I_{xx}$  – ток холостого хода в % от номинального,

принимается по справочным данным в зависимости от мощности и марки трансформатора по каталогу [4];6\*

$\Delta Q_{кз}$  – реактивные потери короткого замыкания, кВАр

$$\Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз} \cdot S_{ном\ T}}{100};$$

где  $U_{кз}$  – напряжение короткого замыкания в % от номинального, принимаем по справочным данным в зависимости от мощности и марки трансформатора по каталогу [4].

Расчет потерь для ТП-2, ТМЗ-1600:

$$\Delta P_{тр} = N \cdot (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \beta_{тр\ н}^2) = 2 \cdot (2,65 + 16,5 \cdot 0,68^2) = 20,56 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{тр} = N \cdot (\Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} \cdot \beta_{тр\ н}^2) = 2 \cdot (16 + 96 \cdot 0,68^2) = 120,781 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx} \cdot S_{ном\ T}}{100} = \frac{1\% \cdot 1600}{100} = 16 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз} \cdot S_{ном\ T}}{100} = \frac{6\% \cdot 1600}{100} = 96 \text{ кВАр};$$

Для остальных ТП расчет ведется аналогично.

Сгруппируем цеха в зависимости от питающих трансформаторов и произведем расчет потерь. Полученные результаты сведем в таблицу 2.4.3

Таблица 2.4.3 – Расчет потерь мощности трансформаторов

№	Наименование потребителей	Запитанные цеха	$S_{\text{ном т'}}$ , кВА	$\beta_{\text{тр н}}$	$\Delta P_{\text{хх}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$ , кВт	$U_{\text{кз}}$ , %	$I_{\text{хх}}$ , %	$\Delta P_{\text{тр'}}$ , кВт	$\Delta Q_{\text{хх}}$ , кВАр	$\Delta Q_{\text{кз}}$ , кВАр	$\Delta Q_{\text{тр'}}$ , кВАр	$\Delta S_{\text{тр'}}$ , кВА
ТП-2	Холодный склад	2,5,10	1600	0,683356	2,65	16,5	6	1	20,56	16	96	120,78	122,52
ТП-3	Швейная фабрика	3,4,11	1600	0,683356	2,65	16,5	6	1	20,56	16	96	120,78	122,52
ТП-6	Красильный	6, 12, 13, 14, 1, 15	1600	0,698578	2,65	16,5	6	1	21,38	16	96	125,54	127,35
ТП-8	Ремонтно-механический	8, 7, 9	1600	0,683356	2,65	16,5	6	1	20,56	16	96	120,78	122,52

## 2.5 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых ТП и уточнение их нагрузки

Для снижения потерь в линиях и трансформаторах примем вариант компенсации реактивной мощности на напряжении 0,4 кВ непосредственно вблизи электроприёмников. КБ присоединяем к сборным шинам НН КТП и РУ.

Реактивная мощность, которую возможно передавать через трансформаторы КТП в сеть напряжением до 1000 В при заданном коэффициенте загрузки, определяется соотношением

$$Q_{\max} = \sqrt{(n \cdot \beta \cdot S_{н.т})^2 - P_p^2},$$

где  $n$  – число трансформаторов на ТП;

$\beta$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме;

$S_{н.т}$  – номинальная мощность трансформаторов, установленных на ТП;

$P_p$  – расчетная активная нагрузка ТП на шинах 0,4 кВ.

Коэффициент загрузки трансформаторов по возможности принимаем близким к 0,6-0,7 так как при этом обеспечивается его максимальный КПД.

Для ТМЗ-1600/10: ТП2

$$Q_{\max}^{1600} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - (365,04 + 899,21 + 906,4)^2} = 551,65 \text{ кВАр};$$

Выбираем мощность КУ близкую к расчетной реактивной мощности. С условием, что:  $Q_p - Q_{ку} \leq Q_{\max}$

Для ТМЗ-1600/10: ТП2

$$Q_{БК,Н1} = Q_{расчН} - Q_{maxTP} = (72 + 689,92 + 618,75) - 551,65 = 829,02 \text{ кВар}$$

необходима компенсация.

Для остальных ТП расчет аналогичен. Сведем результаты расчета в таблицу 2.5.

Таблица 2.5.1 – Расстановка конденсаторных батарей в сети 0,4 кВ

№	Наименование потребителей	$P_o+P_p$	$S_p$	N гр-р	$Q_{max}$	$Q_p$	$Q_{Bк}$	$Q_{Bк, рез}$	Тип КУ	$Q_{ку}$	Sф	Kз	$P_p$	cos(f)
1	Прядильный	336,34	461,77	1	262,67	316,39	353,74	353,74	УКМ-58-04-402-67У3	402	683,36	0,683	648,85	0,949504
2	Ткацкий	323,40	410,03	1	279,18	252,07	296,42	296,42	УКМ-58-04-300-33,3-У9	300	698,5783	0,698	641,92	0,918891
3	Красильный	425,84	600,53	1	299,19	423,43	405,40	405,40	УКМ-58-0,4-536-67У3	536	654,9108	0,654	632,84	0,9663
4	Швейная фабрика	207,00	349,14			281,16								
5	Литейный	820,91	889,81	2	383,67	343,32	436,28	436,28	УКМ-58-0,4-536-67У3	536	1376,018	0,688	1346,4	0,978478
6	Котельная	250,47	313,55			188,61								
7	Механический	265,74	351,91			230,69								
8	Инструментальный	247,39	348,46			245,41								
9	Столярный	183,04	257,38			180,95								
10	Заводоуправление	65,12	84,99			54,61								
11	Гараж	29,24	55,77			47,49								
12	Склад готовых изделий	23,54	51,09			45,34								
13	Насосная	91,98	141,15			107,07								

## 2.5 Система внешнего электроснабжения.

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:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{3} + \frac{2500}{8,2}}} = 46,05 \text{ кВ},$$

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 перемычкой 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.

$$S_{н.тр.} = \frac{S_{р.гпп}}{N_{тр} \cdot \beta_{тр}} = \frac{19367,6}{2 \cdot 0,7} = 13834 \text{ кВА.}$$

Полученное значение  $S_{н.тр.}$  округляем до ближайшего большего типа ТДН – 16000/110 [7]. Паспортные данные трансформатора представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6- Паспортные данные трансформатора ТДН – 16000/110

Тип трансформатора	$S_{ном,}$ кВА	$U_{ном}$ обмоток, кВ	$U_{к,}$ %	$P_{кз,}$ кВт	$P_{хх,}$ кВт	$I_{х,}$ %	Группа соединения обмоток
ТДН – 16000/110	16000	115/11	10,5	90	15,8	0,33	YN/YN/D- 0-11

Выбор сечения проводов воздушных линий, питающих трансформаторы ГПП

Питающие линии выполняются проводом марки АС, сечение которого выбирается по нагреву расчетным током.

*Расчетный ток на одну линию:*

$$I_p = \frac{S_p^{ГПП}}{2\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{16000}{2\sqrt{3} \cdot 110} = 42 \text{ А}$$

*В аварийном режиме:*

$$I_{ав.р} = \frac{S_p^{ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 84 \text{ А}$$

*Экономическое сечение:*

$$S_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{42}{1} = 42 \text{ А}$$

где  $j_{эк} = 1 \frac{А}{мм^2}$  – нормированное значение экономической плотности тока при  $T_m > 5000$  ч [2,стр.78].

Округлив расчетную величину сечения до ближайшей стандартной, получим  $50 \text{ мм}^2$ , но по условиям ограничений потерь на корону для 110 кВ

минимальное сечение –  $70 \text{ мм}^2$ , поэтому принимаем сечение питающих линий  $70 \text{ мм}^2$ .

Для АС – 70 допустимый ток  $I_{доп} = 265 \text{ А}$ .

Для выбранного сечения выполним необходимые проверки:

1. По послеаварийному току, когда одна из линий повреждена или отключена:

$$1,3I_{доп} \geq I_{ав.р}, \text{ т.е.}$$

$$1,3 \cdot 265 \geq 101,654$$

следовательно, выбранное сечение эту проверку проходит.

2. Проверку по коронированию не производим (см. выше)

3. По механической прочности минимальное сечение  $F_{\min} = 25 \text{ мм}^2$ , что меньше выбранного

4. Проверка по допустимой потере напряжения:

- допустимая длина питающей линии:

$$l_{доп} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{доп} \% \cdot \frac{I_{доп}}{I_p} \geq l_{факт},$$

где  $l_{\Delta U 1\%}$  - длина линии при полной нагрузке, на которой потеря напряжения равна 1%. По [3, стр.90] принимаем  $l_{\Delta U 1\%} = 5,1 \text{ км}$ ;

$\Delta U_{доп} \% = 5\%$  - допустимая потеря напряжения в нормальном режиме.

Итак,

$$l_{доп} = 5,1 \cdot 5\% \cdot \frac{265}{50,827} = 132,951 \geq l_{факт} = 13 \text{ км},$$

следовательно выбранное сечение проходит и эту проверку.

Таким образом, электроснабжение завода осуществляется от подстанции энергосистемы по двум воздушным линиям 110 кВ, выполненным проводом марки АС-70 на металлических двухцепных опорах.

ГПП располагается на территории предприятия со смещением от центра электрических нагрузок ввиду особенностей расположения цехов. На

ГПП установлены два двухобмоточных трансформатора типа ТДН – 16000/110.

На стороне 110 кВ принята упрощенная схема коммутации (отделитель и короткозамыкатель). На стороне 10 кВ принята одинарная система шин, секционированная масляным выключателем с устройством АВР.

## 2.6 Схема внутрив заводского распределения сети 10 кВ

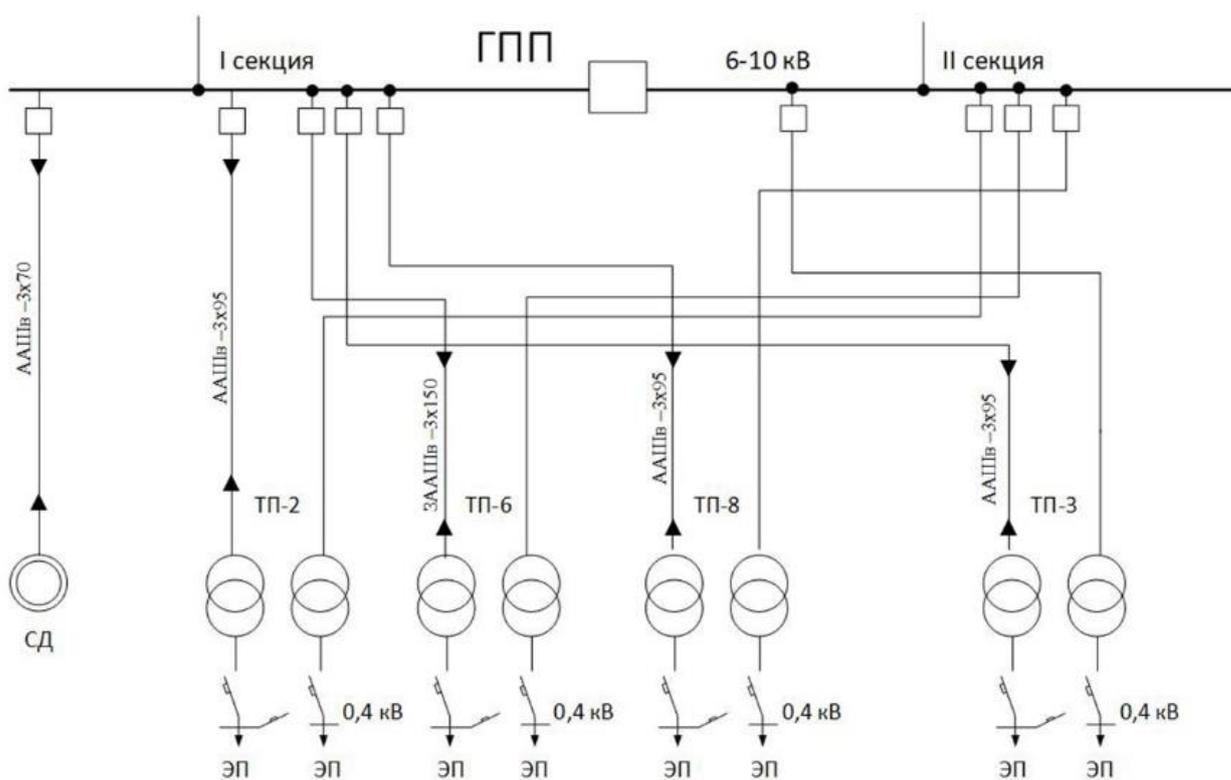


Рисунок 2.7 – Схема внутрив заводской распределительной сети

Распределительная сеть выше 1000 В по территории электротехнического завода выполняется кабельными линиями. Прокладка кабелей осуществляется в кабельных траншеях.

Выбор сечений кабелей производим по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $F$ , мм<sup>2</sup>, определяем из выражения:

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

где  $I_p$  – расчётный ток на один кабель, А;

$j_{\text{ЭК}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>.

Для высоковольтных кабелей при  $T_m = 5000$  часов принимаем  $j_{\text{ЭК}} = 1,2$  А/мм<sup>2</sup> [3, табл. П.2.14].

Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток должен соответствовать условиям нормальной работы, при его определении не следует учитывать увеличение тока при аварийных ситуациях. Расчетным током линии для питающих цеховых трансформаторов, преобразователей, высоковольтных электродвигателей и трансформаторов электропечей является их номинальный ток, независимо от фактической загрузки.

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учетом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме. Для загруженных и длинных линий проведем проверку выбранного сечения по допустимой потере напряжения.

Выбор кабеля для линии от ГПП – ТП-2

Рассматриваются две параллельные линии, идущие с разных секций ГПП до ТП-2.

Расчетный ток на один кабель:

$$I_p = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{н.тр}}}{n_{\text{лин}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1600}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 92,38 \text{ А},$$

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

$$I_{\text{П/ав}} = I_p = 59,53 \text{ [А]}.$$

Экономически целесообразное сечение:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЭК}}}; F_{\text{ЭК}} = \frac{92,38}{1,2} = 76,98 \text{ [мм}^2\text{]};$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение  $F=95$  [мм<sup>2</sup>]:  $I_{\text{доп}}=205$  [А] [1, П.6.4].

Проверка выбранного сечения по допустимому нагреву по следующему условию:

$$I_{\text{доп}}=205 \text{ А} \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2} = \frac{92,38}{1 \cdot 0,78} = 118,44 \text{ А.}$$

где  $k_1 \cdot k_2$  - коэффициенты, учитывающие влияние температуры окружающей среды, влияние рядом проложенных кабельных линий, фактическое удельное тепловое сопротивление земли.

Проверка выбранного сечения на допустимый нагрев послеаварийным током:

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

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

$K_{\text{пер}}$  - кратность перегрузки, для нашего случая  $K_{\text{пер}} = 1,2$  [9].

Ток линии в послеаварийном режиме равняется двойному току нормального режима.

Тогда

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,2 \cdot 205 = 246 \text{ А} \geq \frac{I_{\text{п.а}}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{2 \cdot 92,38}{1 \cdot 0,78} = 236,87 \text{ А.}$$

Выбранное сечение проходит проверку.

Проверка кабеля по потере напряжения:

$$\Delta U_{\text{кл}} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_n^2}; \text{ где } l - \text{длина линии.}$$

Условие выполнено.

Предварительно намечаем кабель марки ААШв – 3х95, способ прокладки кабеля в траншее [10].

Таким образом, выбранное сечение проходит проверку по нормальному и послеаварийному режимам. В качестве линии Л-1 принимаем кабель марки ААШв – 3х95.

Для остальных кабельных линий расчет производится аналогично. Сведем данные по предварительному выбору кабелей внутризаводской сети в таблицу

2.15

Таблица 2.15 - Расчет выбора кабелей внутризаводской сети

Назначение линии	Количество линий	Расчетная нагрузка на один кабель		Длина линии $l$ , км	Способ прокладки	$F_{эк}$ , мм <sup>2</sup>	Допустимая нагрузка на один кабель		Проверка по нагреву		Марка и сечение кабеля, выбранного по условию допустимого нагрева $S$ , мм <sup>2</sup>	$R_0$ , Ом/км	$X_0$ , Ом/км	$R$ , Ом	$X$ , Ом
		Норм. режим $I_p$ , А	П.ав. режим $I_{п.а.}$ , А				Норм. режим $I_{доп.}$ , А	П.ав. режим $1,2I_{доп.}$ , А	Норм. режим $\frac{I_p}{K_1 \cdot K_2}$ , А	П.ав. режим $\frac{I_{п.а.}}{K_1 \cdot K_2}$ , А					
ГПП-ТП2	2	92,38	184,76	0,18	траншея	76,98	205	246	118,44	236,88	ААШв –3х95	0,32	0,083	0,05	0,01
ГПП-ТП3	2	92,38	184,76	0,27	траншея	76,98	205	246	118,44	236,88	ААШв –3х95	0,32	0,083	0,08	0,02
ГПП-ТП8	2	92,38	184,76	0,21	траншея	76,98	205	246	118,44	236,88	ААШв –3х95	0,32	0,083	0,06	0,01
ГПП-РУ	1	66,82	-	0,32	траншея	55,68	165	198	78,61	-	ААШв –3х70	0,443	0,083	0,14	0,02
ГПП-ТП-6	2	92,38	184,76	0,15	траншея	76,98	205	246	118,44	236,88	3ААШв-3х150	0,32	0,083	0,05	0,01

## 2.7 Расчёт 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-6,СД. Намечаем на схеме расчетные точки. Составляем расчетную схему:

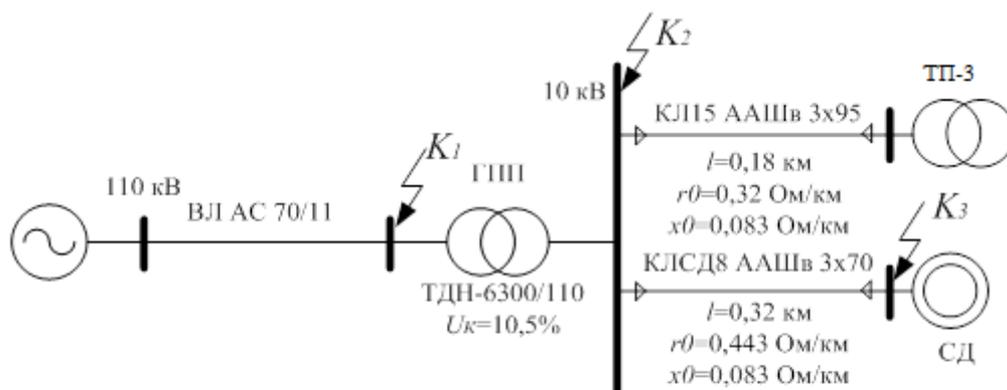


Рисунок 2.8.1– Однолинейная расчетная схема сети

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:

$$r_{\text{вл}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{61}^2} = \frac{0,422 \cdot 9 \cdot 100}{115^2} = 0,03 \text{ о.е.};$$

$$x_{\text{вл}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{61}^2} = \frac{0,444 \cdot 9 \cdot 100}{115^2} = 0,03 \text{ о.е.},$$

где  $l = 9$  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 ТМН – 6300/110:

$$x_{\text{ТР}} = \frac{U_{\text{кз}}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{НОМ.ТР}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,67 \text{ о.е.},$$

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

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

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

3. Сопротивление кабельной линии КЛ-СД:

$$r_{\text{кл}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,443 \cdot 0,32 \cdot 100}{10,5^2} = 0,13 \text{ о.е.};$$

$$x_{\text{кл}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_6}{U_{62}^2} = \frac{0,083 \cdot 0,32 \cdot 100}{10,5^2} = 0,024 \text{ о.е.},$$

где  $l$  - длина кабельной линии, км;

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

$r_0$  - активное сопротивление ААШв 3х70;

$x_0$  - индуктивное сопротивление ААШв 3х70.

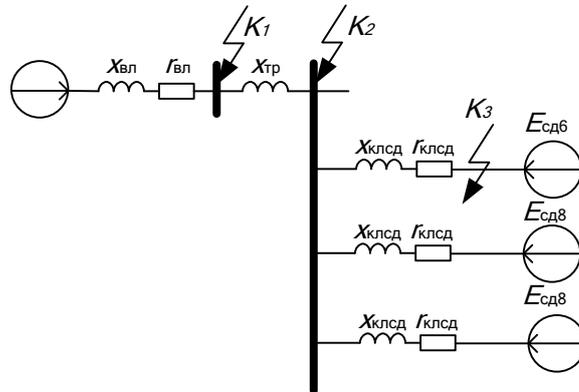


Рисунок 2.6 – Однолинейная схема замещения

Точка К3 - ток К3 от СД на его зажимах

Считаем ток от самого мощного двигателя.

Принимаем

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

$$I_{\text{ном.сд}} = \frac{P_{\text{ном.сд}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{ном}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,96 \cdot 0,9} = 66,82 \text{ А.}$$

$$I_{\text{К3}}^{(3)} = I_{\text{К3\_СД}} = \frac{E'' \cdot I_{\text{ном.сд}}}{x_d''} = \frac{1,1 \cdot 66,82}{0,2} = 0,37 \text{ кА.}$$

Точка К2

Базовый ток

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,49 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление

$$Z_{\text{РЕЗ2}} = \sqrt{(x_{\text{вл}} + x_{\text{тр}})^2 + r_{\text{вл}}^2} = \sqrt{(0,03 + 1,67)^2 + 0,03^2} = 1,7 \text{ о.е.}$$

Подпитку токов К3 от СД8 в точке К2 не учитываем, так как длина КЛСД больше трехсот метров.

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ от системы

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{I_{62}}{Z_{\text{PE32}}} = \frac{5,49}{1,7} = 3,18 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{КЗК2}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 2 \cdot 3,18 = 8,99 \text{ кА,}$$

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

$$k_{\text{уд}} = 1 + e^{-0,01/T_a} = 1 + e^{-0,01/56,67} = 2,$$

где  $T_a = x/r = 56,67$ .

### Точка К1

Базовый ток:

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление:

$$Z_{\text{PE31}} = \sqrt{x_{\text{вл}}^2 + r_{\text{вл}}^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,03^2} = 0,04 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{I_{61}}{Z_{\text{PE31}}} = \frac{1,56}{0,04} = 39 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{КЗК1}}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,99 \cdot 39 = 109,76 \text{ кА,}$$

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 2.16.

Таблица 2.16 – Сводная ведомость токов КЗ

Расчетный ток	K1	K2
$I_{КЗ}^{(3)}$	39	3,18
$i_{уд}$	109,76	8,99

Проверка КЛ-ТП6 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:

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

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:

$$B_k = I_{\Pi 0}^2 (t_{\text{пр}} + T_a) = 3,18^2 \cdot (0,055 + 0,18) = 2,3 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с},$$

где  $I_{\Pi 0}$  - 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:

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}} = \frac{1,7}{314 \cdot 0,03} = 0,18 \text{ с},$$

где  $x_{\Sigma}$ ,  $r_{\Sigma}$  - 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 равное 0,025 с.

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

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

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

$\Delta t_{\text{с}}$  - степень селективности, принимается в проекте в зависимости от числа ступеней распределения энергии по территории предприятия.

Тогда

$$F_{\text{мин}} = \frac{\sqrt{B_{\text{k}}}}{C_{\text{T}}} = \frac{\sqrt{2,3 \cdot 10^6}}{95} = 15,96 \text{ мм}^2,$$

Условие выполнено. Выбранный для КЛ-КТП6 кабель марки ААШв 3х95 проходит по термической стойкости к току КЗ, следовательно, оставляем намеченный кабель.

Выбранное сечение необходимо проверить по потере напряжения:

$$\Delta U_{\text{КЛ}} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_{\text{H}}^2} = \frac{2290 \cdot 0,32 \cdot 0,18 + 1718 \cdot 0,083 \cdot 0,18}{10 \cdot 10^2} = 0,16 \text{ ,}$$

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 3х95 прошел все этапы проверки и удовлетворяет всем требованиям.

## 2.8 Выбор высоковольтного оборудования

Все виды аппаратов должны выбираться в соответствии с вычисленными максимальными расчетными величинами для нормального режима и короткого замыкания. Для их выбора производится сравнение указанных расчетных величин с допускаемыми значениями высоковольтного оборудования. Составляется таблица сравнения указанных расчетных и допустимых величин. При этом для обеспечения надежной безаварийной работы расчетные величины должны быть меньше допустимых.

Выберем высоковольтный выключатель с низкой стороны ГПП, а также секционный выключатель.

Зная начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ и ударный ток КЗ выберем высоковольтный выключатель.

Расчетные данные		Справочные данные
$U_n = 10 \text{ кВ}$	=	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 1118 \text{ А}$	<	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$
$I_{\text{п.о.}} = 7,91 \text{ кА}$	<	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$
$i_y = 20,14 \text{ кА}$	<	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$
$B_k = 61,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	<	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимаем к установке выключатель марки ВМЭ-10Э-1000/20УЭ

Выбор разъединителя, 110 кВ осуществим по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$ ;
2. По длительному току:  $I_p \leq I_n$  (кроме короткозамыкателя);
3. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{\text{дин}}$ ;
4. По термической стойкости:  $B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$ .

Выбор разъединителя и отделителя сведем в таблицу 2.9.1.

Выбор короткозамыкателя 110 кВ сведем в таблицу 2.9.2.

Выбор выключателя и разъединителя 110 кВ.

Выбираем выключатель ВБУ-110-50/1000У3

Выбираем разъединитель РНДЗ.2-110/630Т1

Таблица 2.9.1 -Выбор отделителя и разъединителя 110 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	
	Выключатель ВБУ-110-50/1000У3	Разъединитель РНДЗ.2-110/630Т1
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
$I_{max} = 101 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 32,77 \text{ кА}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$
$B_k = 10,9^2 \cdot 1,33 = 158 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 50^2 \cdot 4 = 10000 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 31,5^2 \cdot 4 = 3969 \text{ кА}^2\text{с}$

Выбранный нами разъединитель удовлетворяет всем условиям.

Выбранный нами отделитель удовлетворяет всем условиям.

Выбор короткозамыкателя 110 кВ.

Выбираем короткозамыкатель КЗ-110УХЛ1

Таблица 2.9.2 - Выбор короткозамыкателя 110 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные Короткозамыкатель КЗ-110УХЛ1
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_n = 110 \text{ кВ}$
$I_{max} = 101 \text{ А}$	-
$i_y = 32,77 \text{ кА}$	$I_{дин} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 158 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Выбранный нами короткозамыкатель удовлетворяет всем условиям.

Принимаем к установке разрядник РТФ-110-1/БУХЛ1 с  $U_{ном}=110$ , кВ.

### Выбор трансформаторов тока

Осуществляем выбор по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_{ном} \leq I_{ном}; I_{max} \leq I_{ном}$ ;
3. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;

4. По термической стойкости:  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ ;

5. По вторичной нагрузке:  $Z_2 \leq Z_{2ном}$ ;  $r_2 = Z_2 \leq Z_{2ном}$ , где  $Z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$Z_{2н\hat{н}}$  – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Выбор трансформатора тока 110 кВ.

Выбираем ТФЗМ-110Б-1-ХЛ1

Выбор трансформатора тока сведем в таблицу 2.9.3.

Таблица 2.9.3 - Выбор трансформатора тока 110 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные ТФЗМ-110Б-1-ХЛ1
$U_{уст} = 110$ кВ	$U_{ном} = 110$ кВ
$I_{max} = 101$ А	$I_{ном} = 150$ А
$i_y = 32,77$ кА	$i_{дин} = 41$ кА
$B_k = 158$ кА <sup>2</sup> с	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 8^2 \cdot 3 = 192$ кА <sup>2</sup> с
$r_2 = z_2 = 1,2$ Ом	$z_2 = 1,2$ Ом

Проверим выбранный трансформатор тока по вторичной нагрузке.

Таблица 2.9.4 - Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Счетчик активной энергии	СА4-И 682	2,5	-	2,5
Счетчик реактивной энергии	СР4-И 682	2,5	-	2,5
Амперметр регистрирующий	Н-344	-	10	-
Ваттметр	Д-335	0,5	-	0,5
Итого		5,5	10	5,5

Наиболее загружен трансформатор тока фазы В.

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{10}{25} = 0,4 \text{ Ом.}$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{пр} = Z_{2ном} - r_{приб} - r_k = 1,2 - 0,4 - 0,1 = 0,7 \text{ Ом,}$$

где  $r_{\hat{e}} = 0,1 \hat{i}$  – принимается при числе приборов, большем трех (сопротивление контактов).

Зная  $r_{np}$ , можно определить сечение соединительных проводов:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{расч}}{r_{np}},$$

где  $\rho = 0,0283$  – удельное сопротивление провода, Ом/м.

$l_{расч} = 2 \cdot l = 2 \cdot 75 = 150$  м.

$$q = \frac{\rho \cdot l_{расч}}{r_{np}} = \frac{0,0283 \cdot 150}{0,7} = 6 \text{ мм}^2.$$

Принимаем контрольный кабель АКРВГ с жилами сечением 6 мм<sup>2</sup>.

Выбранный нами трансформатор тока удовлетворяет всем условиям

Выбор трансформатора тока 10 кВ.

Выбираем трансформатор тока. ТШЛ-10-У3

Выбор трансформатора тока 10 кВ сведем в таблицу 2.9.5.

Таблица 2.9.5- Выбор трансформатора тока 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные ТШЛ-10-У3
$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ
$I_{max} = 1118$ А	$I_{ном} = 2000$ А
$i_y = 20,14$ кА	$i_{дин} = 25$ кА
$B_k = 61,1$ кА <sup>2</sup> с	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 3675$ кА <sup>2</sup> с
$r_2 = z_2 = 1,2$ Ом	$z_2 = 1,2$ Ом

Проверка производится аналогично трансформатору тока 110 кВ ТФЗМ.

Выбранный нами трансформатор тока удовлетворяет всем условиям

### Выбор трансформаторов напряжения

Осуществляем выбор трансформаторов напряжения по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;

2. По конструкции и схеме соединения обмоток;
3. По классу точности;
4. По вторичной нагрузке:  $S_{2\Sigma} \leq S_{i\hat{i}\hat{i}}$  ;

где  $S_{ном}$  – номинальная мощность в выбранном классе точности;

$S_{2\Sigma}$  - нагрузка всех измерительных приборов.

Выбираем трансформатор напряжения НТМК-10-71У3:

$U_{ном}=10$  кВ;

класс точности: 0,5;

схема соединения обмоток:  $\text{Y} / \text{Y} / \Delta - 0$

Проверим по вторичной нагрузке:

$S_{ном}$  – номинальная мощность в выбранном классе точности, для трансформаторов, соединенных по схеме открытого треугольника следует взять удвоенную мощность одного трансформатора;

$S_{2\Sigma}$  - нагрузка всех измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения, ВА.

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} .$$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения первой секции:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} = \sqrt{96^2 + 233^2} = 252 \text{ ВА} .$$

Трансформаторы, соединенные по схеме открытого треугольника имеют мощность:  $2 \cdot 75 = 150$  ВА.

$S_{ном} < S_{2\Sigma}$ , поэтому предусматриваем дополнительно установку двух трансформаторов НТМК-6-71У3, общей мощностью  $2 \cdot 75 = 150$  ВА.

Полная мощность всех установленных на первой секции трансформаторов напряжения:  $150 + 150 = 300$  ВА.

Таким образом, трансформаторы напряжения будут работать в выбранном классе точности 0,5.

Выбор трансформаторов напряжения второй секции шин производится аналогично.

Выбираем трансформаторы НТМК-10-71У3.

Таблица 2.9.6 - Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Прибор	Тип	Мощность одной обмотки, ВА	Число обмоток	cos φ	sin φ	число приборов	Общая потребляемая мощность		
							P, Вт	Q,ВАр	
Вольтметр (сборные шины)	Э-335	2	1	1	0	1	2	-	
Счетчик активной энергии	Ввод 10 кВ от трансформатора	И-674	3 Вт	2	0,38	0,925	1	6	14,5
Счетчик реактивной энергии		И-673	3 Вт	2	0,38	0,925	1	6	14,5
Счетчик активной энергии	Линии 10 кВ	И-674	3 Вт	2	0,38	0,925	7	42	102
Счетчик реактивной энергии		И-673	3 Вт	2	0,4	0,93	7	42	102
Итого								96	233

Выбранный нами трансформатор напряжения удовлетворяет всем условиям.

## 2.9 Электроснабжение кузнечного цеха

Электроснабжение цеха выполняется в следующей последовательности.

1. Приёмники цеха распределяются по пунктам питания (силовым распределительным шкафам), выбирается схема и способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания). Принятая схема (радиальная, магистральная, смешанная) питающей сети должна обеспечивать требуемую надёжность питания приёмников и требуемую по технологическим условиям гибкость и универсальность сети в отношении присоединения новых приёмников и перемещения приёмников по площади цеха. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учётом характера окружающей среды и возможных условий места прокладки. Исполнение силовых распределительных пунктов и шинопроводов должно также соответствовать характеру окружающей среды.

2. Определяются расчётные электрические нагрузки по пунктам питания цеха.

3. Производится выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверка их по потере напряжения.

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

5. Для участка цеховой сети (от вводного автомата на подстанции до самого мощного электроприёмника) строится карта селективности действия аппаратов защиты.

6. Производится расчёт питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной, минимальной и послеаварийной нагрузок.

7. Производится расчёт токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха. Полученные данные наносятся на карту селективности действия аппаратов защиты.

### 2.9.1 Распределение приёмников по пунктам питания

Распределение электроприёмников по пунктам питания осуществляется путём подключения группы электроприёмников к соответствующему распределительному шкафу ШР. Так как ШР бывают различных типов и имеют определённое число присоединений, а именно 8, то для каждого электроприёмника необходимо выбрать предохранитель, а затем подключить его к соответствующему ШР. Кроме того, для каждого ШР необходимо выбрать защитный аппарат – автоматический выключатель

#### Условия выбора плавких предохранителей

$$1. I_{\text{вс}} \geq I_{\text{дл}};$$

$$2. I_{\text{вс}} \geq \frac{I_{\text{кр}}}{\alpha} \text{ (для ЭП, у которых есть электродвигатель),}$$

$I_{\text{вс}}$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А;

$I_{\text{дл}}$  – длительно протекающий ток;

$I_{\text{кр}}$  – наибольший кратковременный ток, А;

$\alpha = 2,5$  – коэффициент, характеризующий условия пуска двигателя (нормальные условия)

Пример выбора плавкого предохранителя для Токарно-винторезный станок (№ 1):

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,6 \cdot 0,95} = 10,6 \text{ А};$$

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пуск}} = 5,5 I_{\text{ном}} = 5,5 \cdot 10,6 = 58,3 \text{ А};$$

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пуск}} = 5 I_{\text{ном}} = 5 \cdot 10,6 = 53,3 \text{ А};$$

$$I_{\text{вс}} \geq I_{\text{дл}} = I_{\text{ном}} = 10,6 \text{ А};$$

$$I_{\text{вс}} \geq \frac{I_{\text{кр}}}{\alpha} = \frac{53,7}{2,5} = 21,3 \text{ А}$$

Для остальных электроприемников расчеты производятся аналогично, с той лишь разницей, что для сварочной машины и кабины коэффициент мощности принимаем равным 0,4.

Используя справочную литературу [3, стр.93] выбираем предохранитель типа НПН2–60, у которого  $I_{ном} = 60 A$ ,  $I_{вс} = 40 A$ .

Для выбора ШР различных типов используем справочную литературу [3, стр.92].

Выбор вводного выключателя цехового трансформатора (цех №12) и распределительного пункта(цех №9)

$$1) \quad I_{н.расч} \geq I_{дл} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2430,95 A$$

$$I_{вз} \geq 1,25I_{кр} = 1,25(I_{пуск.наиб.} + (\sum I_p - k_u \cdot I_{ном.наиб.})) = 1,25(148,56 + (2430,95 - 0,65 \cdot 27,01)) = 3202,44 A$$

Выбираем выключатель типа **ВА74-45**, у которого

$$I_{н.расч} = 3000 A, \quad I_{вз} = 2 \cdot I_{н.расч.} = 2 \cdot 3000 = 6000 A.$$

$$2) \quad I_{н.расч} \geq I_{дл} = \frac{S_{р9}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{214,972}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 326,62 A$$

$$I_{вз} \geq 1,25I_{кр} = 1,25(I_{пуск.наиб.} + (\sum I_p - k_u \cdot I_{ном.наиб.})) = 1,25(148,56 + (326,62 - 0,65 \cdot 27,01)) = 572,03 A$$

Выбираем выключатель типа **ВА74-40**, у которого

$$I_{н.расч} = 500 A,$$

$$I_{вз} = 3 \cdot I_{н.расч.} = 3 \cdot 500 = 1500 A$$

(коэффициент 3 взят из соображений селективности работы защитных аппаратов)

Таблица 2.10.1 Расчет нагрузки пунктов питания

№ п/п	Наименование узлов питания и групп	Количество ЭП п	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		$m = P_{п, \max} / P_{п, \min}$	Коэффициент использования Ки	$\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число ЭП $n_3$	Коэффициент максимума Км	Максимальная нагрузка			Расчетные токи $I_M / I_{\text{п}}$
			одного ЭП (наименьшего, наибольшего) $P_n$ , кВт	общая $P_n$ , кВт				$P_{\text{см}} = K_n \cdot P_n$ , кВт	$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \operatorname{tg} \varphi$ , кВАр			$P_M = K_M \cdot P_{\text{см}}$ , кВт	$Q_M = Q_{\text{см}}$ при $n_3 > 10$ , $Q_M = 1,1 Q_{\text{см}}$ при $n_3 \leq 10$ , кВАр	$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-1</b>														
	<b>Группа А:</b> Станки разные №1-3, 4-6	6	4-7,5	34.50		0.14	0,6/1,33	4.83	6.42						
	<b>Итого по группе А:</b>	6	4-7,5	34.50	$m < 3$	0.14		4.83	6.42	6.00	2.64	12.75	7.07		
	<b>Группа Б:</b> Вентилятор №63	1	11	11		0.65	0,8/0,75	7.15	5.36						
	<b>Итого по группе Б:</b>	1	11	11		0.65		7.15	5.36		1.00	11.00	8.25		
	<b>ИТОГО ПО ШР-1</b>	7	04.ноя	45.50				11.98	11.79			23.75	15.32	28.26	42.99
2	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-2</b>														
	<b>Группа А:</b> Станки разные №7-9	3	4	12.00		0.14	0,6/1,33	1.68	2.23						
	<b>Итого по группе А:</b>	3	4	12.00	$m < 3$	0.14		1.68	2.23		1.00	12.00	15.96		
	<b>Группа Б:</b> Вайма веерная 10-12	3	12	36		0.65	0,8/0,75	23.40	17.55						
	<b>Итого по группе Б:</b>	3	12	36		0.65		23.40	17.55		1.00	36.00	27.00		

	<b>ИТОГО ПО ШР-2</b>	6	4-12	48.00				25.08	19.78			48.00	42.96	64.42	97.99
3	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-3</b>														
	<b>Группа А:</b>														
	Станки разные №13-15	3	4	12.00		0.14	0,6/1,33	1.68	2.23						
	Станки разные 16,17	2	8.5	10.75		0.10	0,5/1.73	1.08	1.86						
	<b>ИТОГО ПО ШР-3</b>	5	4-8,5	22.75	m<3	0.12		2.76	4.09	5.00	3.05	8.40	4.50	9.53	14.50
4	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-4</b>														
	<b>Группа А:</b> Станки разные №18-25	8	3.2	25.60		0.14	0,6/1,33	3.58	4.77						
	<b>ИТОГО ПО ШР-4</b>	8	3.2	25.60	m<3	0.14		3.58	4.77	8.00	2.31	8.28	5.24	9.80	14.91
5	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-5</b>														
	<b>Группа А:</b> Станки разные №26-32	7	3,2-10,2	64.40		0.14	0,6/1,33	9.02	11.99						
	<b>Итого по группе А:</b>	7	3,2-10,2	64.40	m>3	0.14		9.02	11.99	7.00	2.48	22.36	13.19		
	<b>Группа Б:</b> Вентилятор №63	1	11	11.00		0.65	0,8/0,75	7.15	5.36						
	<b>Итого по группе Б:</b>	1	11	11.00		0.65		7.15	5.36		1.00	11.00	8.25		
	<b>ИТОГО ПО ШР-5</b>	8	3,2-11	75.40				16.17	17.35			33.36	21.44	39.66	60.32
6	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-6</b>														
	<b>Группа А:</b> Станки разные №33-39	7	4,5-7,4	40.20		0.14	0,6/1,33	5.63	7.49						
	<b>Итого по группе А:</b>	7	4,5-7,4	40.20	m<3	0.14		5.63	7.49	7.00	2.48	13.96	8.23		
	<b>Группа Б:</b> Вентилятор №65	1	11	11.00		0.65	0,8/0,75	7.15	5.36						
	<b>Итого по группе Б:</b>	1	11	11.00		0.65		7.15	5.36		1.00	11.00	8.25		
	<b>ИТОГО ПО ШР-6</b>	8	4,5-11	51.20				12.78	12.85			24.96	16.48	29.91	45.50
7	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-7</b>														

	<b>Группа А:</b>														
	Внутришлифовальный станок №40	1	7.4	7.40		0.14	0,6/1,33	1.04	1.38						
	Станки разные №43, 44	2	6.8	13.60		0.30	0,6/1,33	4.08	5.43						
	Кран балка ПВ=40% 16,17	2	8.5	10.75		0.10	0,5/1.73	1.08	1.86						
	<b>Итого по группе А:</b>	5	4-8,5	31.75	m<3	0.19		6.19	8.66	7.00	2.48	15.35	9.53		
	<b>Группа Б:</b> Кабина распылительная №45-47	3	25	75.00		0.80	0,95/0,33	60.00	19.80						
	<b>Итого по группе Б:</b>	3	25	75.00		0.80		60.00	61.20	1.00	75.00	24.75			
	<b>ИТОГО ПО ШР-7</b>	8	16	106.75				66.19	69.86			90.35	34.28	96.64	147.00
8	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-8</b>														
	<b>Группа А:</b>														
	Станки разные №48,49	2	7.5	15		0.30	0,6/1,33	4.50	5.99						
	<b>Итого по группе А:</b>	2	7.5	15.00	m<3	0.30		4.50	5.99	1.00	15.00	19.95			
	<b>Группа Б:</b> Печь муфельная №50-54	5	1.8	9.00		0.80	0,95/0,33	7.20	2.38						
	<b>Итого по группе Б:</b>	5	1.8	9.00		0.80		7.20	2.38	1.00	7.20	2.38			
	<b>ИТОГО ПО ШР-8</b>	7	1,8-7,5	24.00				11.70	8.36			22.20	22.33	31.48	47.89
9	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-9</b>														
	<b>Группа А:</b>														
	<b>Группа А:</b> Станки разные № 55-61	7	12-15,5	60.00		0.30	0,35/2.67	18.00	48.06						
	<b>Итого по группе А:</b>	7	12-15,5	60.00	m<3	0.30		18.00	48.06	7.00	2.48	44.64	52.87		
	<b>Группа Б:</b> Вентилятор №66	1	11	11.00		0.65	0,8/0,75	7.15	5.36						
	<b>Итого по группе Б:</b>	1	11	11.00		0.65		7.15	2.36	1.00	11.00	8.25			
	<b>ИТОГО ПО ШР-9</b>	8	11-15,5	71.00				25.15	50.42			55.64	61.12	82.65	125.72
10	<b>Силовой распределительный шкаф ШР-10</b>														
	<b>Группа А:</b>														

<b>Группа А:</b> Четырехсторонний строгальный станок № 6,11	3	22.5	67.50	0.30	0,35/2.67	20.25	54.07										
<b>Итого по группе А:</b>	3	22.5	67.50	0.30		20.25	54.07		1.00	67.50	180.23						
<b>Группа Б:</b>																	
<b>Группа Б:</b> Станки разные №62,63	2	14.5	29.00	0.70	0,7/1	20.30	20.30										
<b>Итого по группе Б:</b>	2	14.5	29.00	0.70		20.30	6.70		1.00	29.00	29.00						
<b>ИТОГО ПО ШР-10</b>	5	14,5-22,5	96.50			40.55	60.77			96.50	209.23	230.41	350.48				
<b>Итого по цеху без учёта осветительной нагрузки</b>	70	1,8-22,5	567			216	260			411	433	597.23					
<b>Электрическое освещение</b>			16.13		$k_{c.o.}=0,85$					13.71							
<b>Итого по цеху с учётом осветительной нагрузки</b>			582.83			215.93	260.04			425.15	432.89	606.76					

Таблица 2.10.2- Защитные аппараты для электроприёмников и силовых распределительных шкафов

№		$R_n$	$\cos\phi$	$I_n$ А	$I_{кр}$ А	Аппарат защиты	способ прокладки	$K_{п}$	условие выбора защиты	$I_n$ ап.защ А	Ток плав. вставки I <sub>вст</sub> А	Марка кабеля	сечение кабеля S мм	I доп	A <sub>кз</sub>	I <sub>з</sub> А	$K_{з*}I_{з}/K_{п}S$	принятое сечение
1	Станок торцовочный	16.2	0.6	43.18	215.90	16.2	кожухах	1	269.87	63	50	АНРГ	10	45	1	50	50	16
2	Станок однопильный круглопильный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
3	Шипорезный станок	23.1	0.6	61.57	307.86	23.1	кожухах	1	384.82	63	63	АНРГ	35	95	1	63	63	35
4	Пресс торцевого давления	11.64	0.65	28.64	143.20	11.64	кожухах	1	178.99	63	32	АНРГ	6	35	1	32	32	6
5	Станок фрезерный	22.5	0.6	59.97	299.86	22.5	кожухах	1	374.83	63	63	АНРГ	16	60	1	63	63	35
6	Четырехсторонний строгальный станок	46.5	0.6	123.94	619.71	46.5	кожухах	1	774.64	63	63	АНРГ	70	140	1	63	63	35

7	Станок торцовочный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	250	40	АНРГ	10	75	1	40	40	10
8-9	Станок однопильный круглопильный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
10	Станок фуговальный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
11	Четырехсторонний строгальный станок	61.8	0.6	164.72	823.62	61.8	кожухах	1	1029.52	250	250	АНРГ	50	190	1	250	250	95
12-13	Вайма веерная	13.2	0.8	26.39	131.94	13.2	кожухах	1	164.92	63	32	АНРГ	6	35	1	32	32	6
14	Форматно-обрезной станок	15	0.6	39.98	199.91	15	кожухах	1	249.88	63	50	АНРГ	10	45	1	50	50	16
15-17	Станок фуговальный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
18-19	Станок рейсмусовый	22.5	0.6	59.97	299.86	22.5	кожухах	1	374.83	250	63	АНРГ	10	75	1	63	63	10
20	Пресс гидравлический горячего отверждения	81	0.65	199.29	996.46	81	кожухах	1	1245.58	63	63	АНРГ	120	200	1	63	63	35
21-22	Станок однопильный круглопильный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
23	Станок фрезерный	22.5	0.6	59.97	299.86	22.5	кожухах	1	374.83	63	63	АНРГ	16	60	1	63	63	35
24	Обработывающий центр	62.7	0.6	167.12	167.12	62.7	кожухах	1	208.90	63	63	АНРГ	120	200	1	63	63	35
25	Фрезерный станок	12	0.6	31.99	31.99	12	кожухах	1	39.98	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
26-27	Токарный полуавтомат	31.5	0.6	83.96	251.88	31.5	кожухах	1	314.85	63	63	АНРГ	35	95	1	63	63	35
28-29	Ленточно-шлифовальный полуавтомат по копиру	18	0.6	47.98	143.93	18	кожухах	1	179.92	63	63	АНРГ	16	60	1	63	63	35
30-31	Токарный станок ручной	25.5	0.6	67.97	339.84	25.5	кожухах	1	424.80	250	80	АНРГ	10	75	1	80	80	16
32	Фрезерный станок для декорирования ножек	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	250	40	АНРГ	10	75	1	40	40	10
33	Форматно раскроечный станок	13.65	0.6	36.38	181.92	13.65	кожухах	1	227.39	250	40	АНРГ	10	75	1	40	40	10
34	Форматно раскроечный станок	18.75	0.6	49.98	249.88	18.75	кожухах	1	312.36	63	63	АНРГ	16	60	1	63	63	35
35	Круглопильный ламельный станок	18.75	0.6	49.98	249.88	18.75	кожухах	1	312.36	250	50	АНРГ	10	75	1	50	50	10
36	Фуговальный станок	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	250	40	АНРГ	10	75	1	40	40	10
37	Рейсмусовый станок	28.8	0.6	76.76	383.82	28.8	кожухах	1	479.78	63	63	АНРГ	35	95	1	63	63	35
38	Универсальный станок (фрезерный, круглопильный)	15	0.6	39.98	199.91	15	кожухах	1	249.88	63	50	АНРГ	10	45	1	50	50	16
39	Станок фрезерный с шипорезной кареткой	16.5	0.6	43.98	219.90	16.5	кожухах	1	274.87	63	50	АНРГ	10	45	1	50	50	16

40	Станок круглопильный однопильный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
41	Колибровально- шлифовальный станок	24	0.6	63.97	319.85	24	кожухах	1	399.81	63	63	АНРГ	35	95	1	63	63	35
42	Ленточно-шлифовальный полуавтомат по копиру	18	0.6	47.98	239.89	18	кожухах	1	299.86	63	63	АНРГ	16	60	1	63	63	35
43	Ленточно-шлифовальный станок	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
44	Токарный станок	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	250	40	АНРГ	10	75	1	40	40	10
45	Станок сверлильно- присадочный восьмишпинд.	18	0.6	47.98	239.89	18	кожухах	1	299.86	63	63	АНРГ	16	60	1	63	63	35
46	Станок фрезерный	18	0.6	47.98	47.98	18	кожухах	1	59.97	63	63	АНРГ	16	60	1	63	63	35
47-49	Колибровально- шлифовальный станок	27	0.6	71.97	359.83	27	кожухах	1	449.79	63	63	АНРГ	35	95	1	63	63	35
50-51	Станок ленточно- шлифовальный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	250	40	АНРГ	10	75	1	40	40	10
52	Станок для усовой торцовки	21	0.6	55.97	279.87	21	кожухах	1	349.84	250	63	АНРГ	10	75	1	63	63	10
53	Станок фуговальный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
54-55	Станок однопильный круглопильный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
56	Станок кромкооблицовочный	24	0.6	63.97	319.85	24	кожухах	1	399.81	250	80	АНРГ	10	75	1	80	80	16
57	Станок фуговальный	9	0.6	23.99	119.94	9	кожухах	1	149.93	63	32	АНРГ	6	35	1	32	32	6
58	Постфоринг	9	0.95	15.15	75.75	9	кожухах	1	94.69	63	16	АНРГ	6	35	1	16	16	6
59	Станок круглопильный	12	0.6	31.99	159.93	12	кожухах	1	199.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
60-61	Кабина распылительная	18	0.8	35.98	179.92	18	кожухах	1	224.90	63	40	АНРГ	10	45	1	40	40	10
62	Кабина распылительная	15.6	0.8	31.19	155.93	15.6	кожухах	1	194.91	63	40	АНРГ	6	35	1	40	40	10
63-66	Вентилятор	12	0.8	23.99	119.94	12	кожухах	1	149.93	63	32	АНРГ	6	35	1	32	32	6

## 2.9.2 Выбор сечений питающей сети и силовой распределительной сети, аппаратов защиты и управления цеха

Выбор осуществляем по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверяем их по потерям напряжения.

**Условие выбора проводников:**

$$I_p = I_{дл.} \leq I_{доп};$$

**Пример расчёта для линии РП – ШР1:**

$$I_p = I_{дл.} = 61,289 \text{ A}$$

Используя справочную литературу [8, стр.127] выбираем кабель марки АНРГ-(4x25), у которого  $I_{доп} = 75 > 61,289 \text{ A}$

Выбранное сечение необходимо проверить по допустимой потере напряжения  $\Delta U_p \% = \Delta U_o \cdot I_p \cdot l$ ,

где  $\Delta U_o$  – потеря напряжения в 3-х фазных сетях, %/А·км, принимаем по справочной

литературе [3, стр.91];

$I_p$  – расчётный ток;

$l$  – длина проводника.

$$\Delta U_p \% = 0,5 \cdot 61,289 \cdot 0,01 = 0,31 \% < 5 \% .$$

Пример расчёта сечения провода ответвления к Токарно-винторезный станок :

$$I_{ном} = I_p = 15,19 \text{ A}$$

Используя справочную литературу [6, стр.20] выбираем провод марки АПВ-3(1x2), у которого  $I_{дл.} = 18 > 15,19 \text{ A}$

Пример согласования ответвления и защитного аппарата к вертикально-фрезерному станку

Условие согласования:  $I_{доп.} \geq \frac{K_3 I_3}{K_{пр.}}$ ,

где  $I_{дл.}$  – допустимый длительный ток проводника, А;

$k_3$  – коэффициент защиты, принимаем согласно [2, стр.54];

$I_n$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А;

$k_{пр.}$  – коэффициент прокладки проводника, принимаем согласно [2, стр.79].

$$18 \geq \frac{0,33 \cdot 40}{1} = 13,2 \text{ А}$$

Это означает, что ответвление и защитный аппарат к вертикально-фрезерному выбраны верно, так как они удовлетворяют всем условиям проверки и согласования.

Остальные расчеты выполняются аналогично. Результаты представлены в таблице 2.10.3.

Таблица 2.10.3 Выбор сечений линий питающей сети цеха

№ п/п	Номер линии на плане цеха	Назначение участка линии питающей сети	Расчетная нагрузка $S_p$ , кВА	Расчетный ток $I_p$ , А	Длина линии $l$ , км	Способ прокладки	Коэффициент прокладки, К	Марка кабеля	Сечение, выбранное из условия допустимого нагрева $S_n$ , мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток $I_{доп}$ , А	$\cos\phi$	Потери напряжения на 1 А км, $\Delta U_0$ , %	Расчетные потери напряжения $\Delta U_p$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Л-1	РП – ШР1	28,2	43	0,01	На стенах на скобах	1	АНРГ	(4x10)	45	0,83	0,5	0,31
2	Л-2	РП- ШР2	64,4	98	0,01		1	АНРГ	(4x50)	110	0,81	1,18	0,48
3	Л-3	РП – ШР3	9,53	14,5	0,03		1	АНРГ	(4x2,5)	16	0,72	0,32	0,84
4	Л-4	РП – ШР4	9,8	14,9	0,005		1	АНРГ	(4x2,5)	16	0,67	0,62	0,17
5	Л-5	РП – ШР5	39,7	60,3	0,025		1	АНРГ	(4x25)	75	0,83	0,5	0,84
6	Л-6	РП – ШР6	29,9	45,5	0,01		1	АНРГ	(4x16)	60	0,86	3,11	0,84
7	Л-7	РП – ШР7	69,9	147	0,02		1	АНРГ	(4x95)	165	0,82	0,26	0,48
8	Л-8	РП – ШР8	31,5	47,9	0,012		1	АНРГ	(4x16)	60	0,84	0,26	0,3
9	Л-9	РП – ШР9	82,6	125,7	0,012		1	АНРГ	(4x70)	140	0,84	0,26	0,3
10	Л-10	РП – ШР10	230	350,5	0,012		1	АНРГ	4x(1x195)	405	0,84	0,26	0,3

### 2.9.3 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчёт токов КЗ в сети до 1000 В имеет следующие особенности:

1 принимаем мощность системы  $S_c = \infty$ , что правомерно  $S_c \geq 50S_{н.тр.}$ . При этом напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ в сети до 1000 В;

2 при расчёте учитываются все активные и реактивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети: силовой трансформатор, сопротивление токовой катушки автоматического выключателя и переходное сопротивление контактов, сопротивление первичной обмотки трансформаторов тока, сопротивление проводов и кабелей;

3 расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение берётся на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем  $U = 400В$ , действующая величина тока короткого замыкания  $I_k = U / \sqrt{3Z_\Sigma}$ .

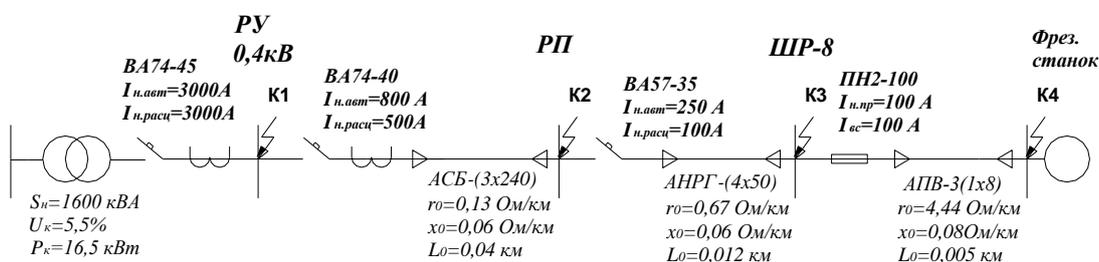


Рисунок 2.10.4 – Схема для расчета токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчёт токов КЗ для точки К1:

$$R_m = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U^2}{S_{н.тр.}^2} = \frac{16,5 \cdot 400^2}{1600^2} = 1,03 \text{ мОм} \quad \text{— активное сопротивление}$$

трансформатора.

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}} = \frac{16,5 \cdot 100\%}{1600} = 1,03\% \quad \text{— активная составляющая напряжения}$$

КЗ;

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,03^2} = 5,4\% \quad - \quad \text{реактивная составляющая}$$

напряжения КЗ;

$$X_m = \frac{U_p\%}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{н.тр.}} = \frac{5,4}{100} \cdot \frac{400^2}{1600} = 5,4 \text{ мОм} \quad - \quad \text{активное сопротивление}$$

трансформатора;

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_m^2 + X_m^2} = \sqrt{1,03^2 + 5,5^2} = 5,6 \text{ мОм}$$

$$I_{K1} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 5,6} = 41,24 \text{ кА};$$

Согласно [1, стр.128] принимаем  $K_{y01} = 1,55$ ;

$$i_{y1} = I_{K1} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y01} = 41,24 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,55 = 90,4 \text{ кА}$$

*Расчёт токов КЗ для точки К2:*

Принимаем для автоматического выключателя, согласно [2, стр.63] следующие величины:

$$R_k = 0,13 \text{ мОм} \quad - \quad \text{активное сопротивление токовой катушки}$$

автоматического выключателя;

$$X_k = 0,098 \text{ мОм} \quad - \quad \text{реактивное сопротивление токовой катушки}$$

автоматич. выключателя;

$$R_{пер} = 0,32 \text{ мОм} \quad - \quad \text{переходное сопротивление контактов.}$$

Для трансформатора тока, согласно [2, стр.63] при коэффициенте трансформации  $K_T=600/5$  принимаем следующие величины:

$$R_{mm} = 0,05 \text{ мОм} \quad - \quad \text{активное сопротивление первичной обмотки}$$

трансформатора тока;

$$X_{mm} = 0,07 \text{ мОм} \quad - \quad \text{реактивное сопротивление первичной обмотки}$$

трансформатора тока.

Для кабеля АСБ - (3Ч240) рассчитаем активное и реактивное

сопротивления:

$$R_{каб} = r_o \cdot l = 0,13 \cdot 0,04 \cdot 10^3 = 5,20 \text{ мОм}$$

$$X_{каб} = x_o \cdot l = 0,06 \cdot 0,04 \cdot 10^3 = 2,4 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma \hat{e}2} = \sqrt{(R_{\hat{o}} + R_{\hat{e}} + R_{i\hat{a}\hat{o}} + R_{\hat{o}\hat{o}} + R_{\hat{e}\hat{a}\hat{a}})^2 + (X_{\hat{o}} + \tilde{O}_{\hat{e}} + \tilde{O}_{\hat{o}\hat{o}} + \tilde{O}_{\hat{e}\hat{a}\hat{a}})^2} = \\ = \sqrt{(1,03 + 0,13 + 0,32 + 0,05 + 5,20)^2 + (5,4 + 0,098 + 0,07 + 2,4)^2} = 10,43 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 2} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma \kappa 2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,43} = 22,14 \text{ кА}$$

Согласно [1, стр.128] принимаем  $K_{y\hat{o}2} = 1,05$ ;

$$i_{y2} = I_{\kappa 2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\hat{o}2} = 22,14 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,05 = 21,1 \text{ кА}$$

*Расчёт токов КЗ для точки К3:*

Принимаем для автоматического выключателя, согласно [2, стр.63]

следующие величины:

$$R_{\kappa} = 1,3 \text{ мОм} \text{ — активное сопротивление токовой катушки}$$

автоматического выключателя;

$$X_{\kappa} = 0,86 \text{ мОм} \text{ — реактивное сопротивление токовой катушки автоматич.}$$

выключателя;

$$R_{пер} = 0,75 \text{ мОм} \text{ — переходное сопротивление контактов.}$$

Для кабеля АНРГ– (3Ч50) рассчитаем активное и реактивное

сопротивления:

$$R_{каб} = r_o \cdot l = 0,67 \cdot 0,012 \cdot 10^3 = 8,04 \text{ мОм}$$

$$X_{каб} = x_o \cdot l = 0,06 \cdot 0,012 \cdot 10^3 = 0,72 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma \kappa 3} = \sqrt{(R_{\Sigma 2} + R_{\kappa} + R_{пер} + R_{каб})^2 + (X_{\Sigma 2} + X_{\kappa} + X_{каб})^2} = \\ = \sqrt{(6,73 + 1,3 + 0,75 + 8,04)^2 + (7,97 + 0,86 + 0,72)^2} = 19,34 \text{ мОм}$$

$$I_{\kappa 3} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma \kappa 3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 19,34} = 11,94 \text{ кА}$$

Согласно [1, стр.128] принимаем  $K_{y\hat{o}3} = 1,02$ ;

$$i_{y3} = I_{\kappa 3} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\hat{o}3} = 11,94 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,02 = 17,22 \text{ кА (кА)}.$$

Расчёт токов КЗ для точки К4:

Для провода АПВ-3 (1Ч10) рассчитаем активное и реактивное сопротивления:

$$R = r_o \cdot l = 4,44 \cdot 0,005 \cdot 10^3 = 22,2 \text{ мОм}$$

$$X = x_o \cdot l = 0,08 \cdot 0,005 \cdot 10^3 = 0,4 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma K4} = \sqrt{(R_{\Sigma 23} + R)^2 + (X_{\Sigma 23} + X)^2} = \\ = \sqrt{(16,82 + 22,2)^2 + (9,55 + 0,4)^2} = 40,27 \text{ мОм}$$

$$I_{K4} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma K4}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 40,27} = 5,73 \text{ кА}$$

Согласно [1, стр.128] принимаем  $K_{y04} = 1$ ;

$$i_{y4} = I_{K4} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y04} = 5,73 \cdot \sqrt{2} \cdot 1 = 8,11 \text{ кА}$$

#### 2.9.4 Построения эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП наиболее удалённого от цеховой ТП электроприёмника для режимов максимальной и минимальной нагрузок

Отклонение напряжения:

$$\Delta U_{ij} = \frac{P_{ij} R_{ij} + Q_{ij} X_{ij}}{10 U_i^2};$$

где  $\Delta U_{ij}$  – отклонение напряжения на соответствующем участке сети, %;

$P_{ij}$  – поток активной мощности, передаваемый по соответствующему участку сети, кВт;

$Q_{ij}$  – поток реактивной мощности, передаваемый по соответствующему участку сети, кВар;

$R_{ij} = \tau_{oij} \cdot l_{ij}$  – активное сопротивление линии соответствующего участка сети, мОм,

здесь  $\tau_{oij}$  – удельное активное сопротивление линии соответствующего участка сети,

Ом/км, принимаемое, согласно справочной литературе [1, стр.139],  $l_{ij}$ — длина линии

соответствующего участка сети, км;

$U_i$ — напряжение в начале соответствующего участка сети, кВ;

Отклонение напряжения на цеховом трансформаторе, %:

$$\Delta U_m = \beta_m (U_a \cdot \cos \phi_2 + U_p \sin \phi_2) + \frac{\beta_m^2}{100} (U_a \sin \phi_2 - U_p \cos \phi_2),$$

$$\beta_m = \frac{S_{ij}}{S_{н.тр.}} \quad \text{фактический коэффициент загрузки цехового}$$

трансформатора, здесь

$S_{ij}$ — поток мощности, передаваемый через цеховой трансформатор, кВа,

$S_{н.тр.}$ — номинальная мощность цехового трансформатора, кВа;

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}} \quad \text{— активная составляющая напряжения короткого}$$

замыкания

цехового трансформатора, %, здесь  $\Delta P_{кз}$ — потери активной мощности при КЗ, кВт,

принимаем согласно [1, стр.215];

$$U_p = \sqrt{(U_{\dot{\epsilon}})^2 - (U_a)^2} \quad \text{— реактивная составляющая напряжения}$$

короткого замыкания

цехового трансформатора, %, здесь  $u_{\dot{\epsilon}}$ — напряжение короткого замыкания, %, принимаем согласно справочной литературе [1, стр.218];

$$\cos \phi_2 = \frac{P_2}{S_2} = \frac{P - \Delta P_m}{\sqrt{(P - \Delta P_m)^2 + (Q - \Delta Q_m)^2}} \quad \text{— коэффициент мощности для}$$

вторичной

нагрузки цехового трансформатора, здесь  $P$ — поток активной мощности, передаваемой

через цеховой трансформатор, кВт,  $Q$  — поток реактивной

мощности, передаваемой через

цеховой трансформатор, кВар,  $\Delta P_m = 0,02S$  – потери активной мощности в цеховом

трансформаторе, кВт,  $\Delta Q_\phi = 0,1S$  – потери реактивной мощности в цеховом

трансформаторе, кВар;

$\sin \varphi_2$  – соответствующий  $\cos \varphi_2$  синус для вторичной нагрузки цехового трансформатора.

### Расчет максимального режима:

#### Участок 1-2:

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

$$R_{12} = r_{012} \cdot L_{12} = 0,48 \cdot 0,21 = 0,1 \text{ Ом}$$

$$X_{12} = x_{012} \cdot L_{12} = 0,06 \cdot 0,21 = 0,0126 \text{ Ом}$$

$$P_{12} = P_{p12} + P_{p9} + P_{p11} + P_{p13} = 632,7 + 78,9 + 207,6 + 214,972 = 1134,172 \text{ кВт}$$

$$Q_{12} = 891,827 \text{ кВАр}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{1134,172 \cdot 0,1 + 891,827 \cdot 0,0126}{10 \cdot 10,5^2} = 0,1\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{12} = 0,1 \frac{10500}{100} = 11,8 \text{ В}$$

$$U_2 = 10500 - 11,8 = 10488,2 \text{ В}$$

#### Участок 2-3:

$$\Delta U_{23} = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{100} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2),$$

$$U_a \% = \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{н.мп}} \cdot 100\% = \frac{16,5}{1600} \cdot 100\% = 1,03\%$$

$$U_p \% = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,03^2} = 5,4$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{1134,172^2 + 891,827^2}}{1600} = 0,89$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 1443,2 = 28,864 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 1443,2 = 144,32 \text{ кВАр}$$

$$P_2' = P_{12} - \Delta P_m = 1134,172 - 28,864 = 1105,308 \text{ Вт}$$

$$Q_2' = Q_{12} - \Delta Q_m = 891,827 - 144,32 = 747,507 \text{ кВАр}$$

$$S_2' = \sqrt{P_2'^2 + Q_2'^2} = \sqrt{1105,308^2 + 747,507^2} = 1334,343 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2'}{S_2'} = \frac{1105,308}{1334,343} = 0,828$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Q_2'}{S_2'} = \frac{747,507}{1334,343} = 0,56$$

$$\Delta U_{23} = 0,89(1,03 \cdot 0,828 + 5,4 \cdot 0,56) + \frac{0,89^2}{100}(1,03 \cdot 0,56 - 5,4 \cdot 0,828) = 3,4\%$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН:

$$10488,2 - 3,4 \frac{10488,2}{100} = 10131,6 \text{ В}$$

Перерасчет напряжения НН:

$$U_3 = 400 \frac{10131,6}{10500} = 385,97 \text{ В}$$

**Участок 3-4:**

$$\Delta U_{34} = \frac{P_{34} R_{34} + Q_{34} X_{34}}{10U_3^2};$$

$$R_{34} = r_{034} \cdot L_{34} = 0,13 \cdot 0,04 = 0,005 \text{ Ом}$$

$$X_{34} = x_{034} \cdot L_{34} = 0,06 \cdot 0,04 = 0,002 \text{ Ом}$$

$$P_{34} = P_{p9} = 214,972 \text{ кВт}$$

$$Q_{34} = 159,077 \text{ кВАр}$$

$$\Delta U_{34} = \frac{214,972 \cdot 0,005 + 159,077 \cdot 0,002}{10 \cdot (385,97 \cdot 10^{-3})^2} = 0,93\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{34} = 0,93 \frac{385,97}{100} = 3,4 \text{ В}$$

$$U_4 = 385,97 - 3,4 = 382,57 \text{ В}$$

### Участок 4-5:

$$R_{45} = 0,67 \cdot 0,012 = 0,008 \text{ Ом}$$

$$X_{45} = 0,06 \cdot 0,012 = 0,001 \text{ Ом}$$

$$P_{45} = P_{\text{ШР8}} = 53,056 \text{ кВт}$$

$$Q_{45} = 34,782 \text{ кВАр}$$

$$\Delta U_{45} = \frac{53,056 \cdot 0,008 + 34,782 \cdot 0,001}{10 \cdot (382,57 \cdot 10^{-3})^2} = 0,31\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{45} = 0,31 \frac{382,57}{100} = 1,18 \text{ В}$$

$$U_5 = 382,57 - 1,18 = 381,39 \text{ В}$$

### Участок 5-6:

$$R_{56} = 4,44 \cdot 0,005 = 0,022 \text{ Ом}$$

$$X_{56} = 0,08 \cdot 0,005 = 0,0004 \text{ Ом}$$

$$P_{56} = P_{\phi c} = 22 \text{ кВт}$$

$$Q_{56} = 22 \cdot 1,73 = 38,06 \text{ кВАр}$$

$$\Delta U_{56} = \frac{22 \cdot 0,022 + 38,06 \cdot 0,0004}{10 \cdot (381,39 \cdot 10^{-3})^2} = 0,34\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{56} = 0,34 \frac{381,39}{100} = 1,3 \text{ В}$$

$$U_6 = 381,39 - 1,3 = 380,1 \text{ В}$$

### Расчет минимального режима:

Для определения потоков мощностей для минимального режима воспользуемся характерным суточным графиком электрических нагрузок для предприятий тяжелого машиностроения (ввиду отсутствия в литературе других схожих):

$$P_{\text{min}12} = 0,75 \cdot P_{\text{max}12} = 0,75 \cdot 1134,172 = 850,63 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{min}12} = 0,9 \cdot Q_{\text{max}12} = 0,9 \cdot 891,827 = 802,64 \text{ кВАр}$$

Далее:

### Участок 1-2:

$$R_{12} = r_{012} \cdot L_{12} = 0,48 \cdot 0,21 = 0,1 \text{ Ом}$$

$$X_{12} = x_{012} \cdot L_{12} = 0,06 \cdot 0,21 = 0,0126 \text{ Ом}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{850,63 \cdot 0,1 + 802,64 \cdot 0,0126}{10 \cdot 10^2} = 0,095\%;$$

Или в вольтах:  $\Delta U_{12} = 0,095 \frac{10000}{100} = 9,5 \text{ В}$

$$U_2 = 10000 - 9,5 = 9990,5 \text{ В}$$

### Участок 2-3:

$$\Delta U_{23} = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{100} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2),$$

$$U_a \% = \frac{\Delta P_\kappa}{S_{н.мп}} \cdot 100\% = \frac{16,5}{1600} \cdot 100\% = 1,03\%$$

$$U_p \% = \sqrt{U_\kappa - U_a} = \sqrt{5,5^2 - 1,03^2} = 5,4$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{850,63^2 + 802,64^2}}{1600} = 0,73$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 1169,53 = 23,39 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 1169,53 = 116,95 \text{ кВАр}$$

$$P_2' = P_{12} - \Delta P_m = 850,63 - 23,39 = 827,24 \text{ Вт}$$

$$Q_2' = Q_{12} - \Delta Q_m = 802,64 - 116,95 = 685,69 \text{ кВАр}$$

$$S_2' = \sqrt{P_2'^2 + Q_2'^2} = \sqrt{827,24^2 + 685,69^2} = 1074,48 \text{ кВА}$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_2'}{S_2'} = \frac{827,24}{1074,48} = 0,77$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{Q_2'}{S_2'} = \frac{685,69}{1074,48} = 0,64$$

$$\Delta U_{23} = 0,73(1,03 \cdot 0,77 + 5,4 \cdot 0,64) + \frac{0,73^2}{100}(1,03 \cdot 0,64 - 5,4 \cdot 0,77) = 3,08\%$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН:

$$9990,5 - 3,08 \frac{9990,5}{100} = 9682,47 \text{ В}$$

Перерасчет напряжения НН:

$$U_3 = 380 \frac{9682,47}{10000} = 367,93 \text{ В}$$

### Участок 3-4:

$$R_{34} = r_{034} \cdot L_{34} = 0,13 \cdot 0,04 = 0,005 \text{ Ом}$$

$$X_{34} = x_{034} \cdot L_{34} = 0,06 \cdot 0,04 = 0,002 \text{ Ом}$$

$$P_{34} = 0,75 \cdot P_{p9} = 161,23 \text{ кВт}$$

$$Q_{34} = 0,9 \cdot 159,077 = 143,17 \text{ кВАр}$$

$$\Delta U_{34} = \frac{161,23 \cdot 0,005 + 143,17 \cdot 0,002}{10 \cdot (367,93 \cdot 10^{-3})^2} = 0,81\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{34} = 0,81 \frac{367,93}{100} = 2,98 \text{ В}$$

$$U_4 = 367,93 - 2,98 = 364,95 \text{ В}$$

#### **Участок 4-5:**

$$R_{45} = 0,67 \cdot 0,012 = 0,008 \text{ Ом}$$

$$X_{45} = 0,06 \cdot 0,012 = 0,001 \text{ Ом}$$

$$P_{45} = 0,75 \cdot P_{ШР8} = 39,79 \text{ кВт}$$

$$Q_{45} = 31,30 \text{ кВАр}$$

$$\Delta U_{45} = \frac{39,79 \cdot 0,008 + 31,30 \cdot 0,001}{10 \cdot (364,95 \cdot 10^{-3})^2} = 0,26\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{45} = 0,26 \frac{364,95}{100} = 0,96 \text{ В}$$

$$U_5 = 364,95 - 0,96 = 363,99 \text{ В}$$

#### **Участок 5-6:**

$$R_{56} = 4,44 \cdot 0,005 = 0,022 \text{ Ом}$$

$$X_{56} = 0,08 \cdot 0,005 = 0,0004 \text{ Ом}$$

$$P_{56} = P_{\phi c} = 22 \text{ кВт}$$

$$Q_{56} = 22 \cdot 1,73 = 38,06 \text{ кВАр}$$

$$\Delta U_{56} = \frac{22 \cdot 0,022 + 38,06 \cdot 0,0004}{10 \cdot (363,99 \cdot 10^{-3})^2} = 0,38\%;$$

$$\text{Или в вольтах: } \Delta U_{56} = 0,38 \frac{363,99}{100} = 1,37 \text{ В}$$

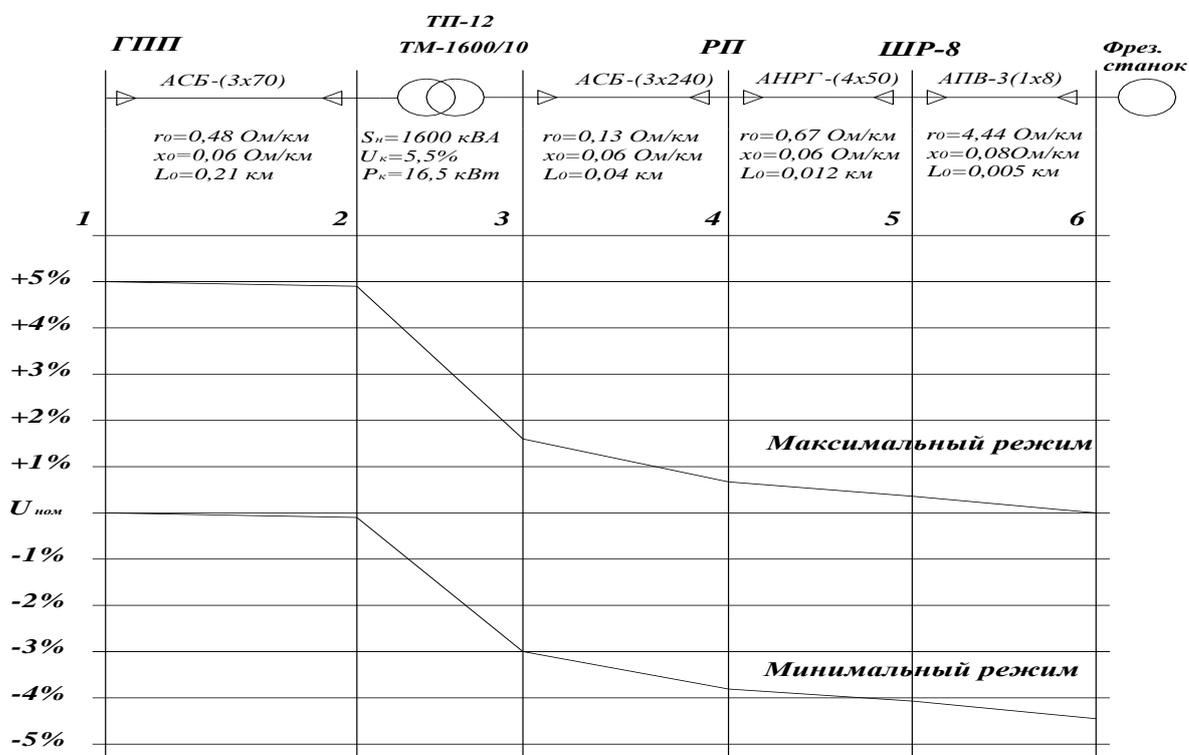
$$U_6 = 363,99 - 1,37 = 362,62 \text{ В}$$

Результаты расчетов для построения эпюры отклонений напряжения для максимального и минимального режимов систематизируем в виде таблицы, представленной ниже.

Таблица 2.10.5. Расчётные данные для построения эпюры отклонений

напряжения

	<b>Максимальный режим</b>	<b>Минимальный режим</b>
$\Delta U_{12}, \%$	0,1	0,095
$\Delta U_{12}, B$	11,8	9,5
$\Delta U_{23} = \Delta U_m, \%$	3,4	3,08
$\Delta U_{23} = \Delta U_m, B$	356,6	308,03
$\Delta U_{34}, \%$	0,93	0,81
$\Delta U_{34}, B$	3,4	2,98
$\Delta U_{45}, \%$	0,31	0,26
$\Delta U_{45}, B$	1,18	0,96
$\Delta U_{56}, \%$	0,34	0,38
$\Delta U_{56}, B$	1,3	1,37
<b><math>U_{ном}, B</math></b>	<b>380,1</b>	<b>362,62</b>



## Рисунок 2.10.5. Эпюры отклонений напряжения

### 2.9.5 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети

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

- 1 номинальный и пусковой токи электроприёмника;
- 2 расчётный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- 3 расчётный и пиковый ток подстанции;
- 4 защитные характеристики защитных аппаратов (автоматических выключателей и предохранителя);
- 5 значения токов КЗ в сети 0,4 кВ.

Данные для построения карты селективности представлены в табл.

2.10.6 и в табл.2.10.7

Таблица 2.10.6 Данные для построения карты селективности

	Электроприёмник	Силовой распределительный шкаф ШР№	Распределительный пункт ВРУ	Подстанция ТП	Значение тока КЗ в соотв. точках, кА			
	Машина эл. сварочная				1	2	3	4
Расчётный ток, А	-	96,388	326,62	2430,95				
Пиковый ток, А	-	295,46	457,62	2561,95				
Номинальный ток, А	37,14	-	-	-				
Пусковой ток, А	204,27	-	-	-				

Таблица 2.10.7 Данные для построения карты селективности

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток	Номинальный ток срабатывания	Номинальный ток плавкой вставки,
------------------------------	-----------------	------------------------------	----------------------------------

	расцепителя, А	уставки в зоне КЗ, А	А
ВА74–45	3000	6000	-
ВА74–40	500	1500	-
ВА57-35	100	1000	-
ПН2–100	-	-	100

Защитные характеристики автоматических выключателей, которые необходимо использовать для построения карты селективности действия аппаратов защиты, приведены в справочной литературе [3, стр.88]; плавких предохранителей в справочной литературе [2, стр.88].

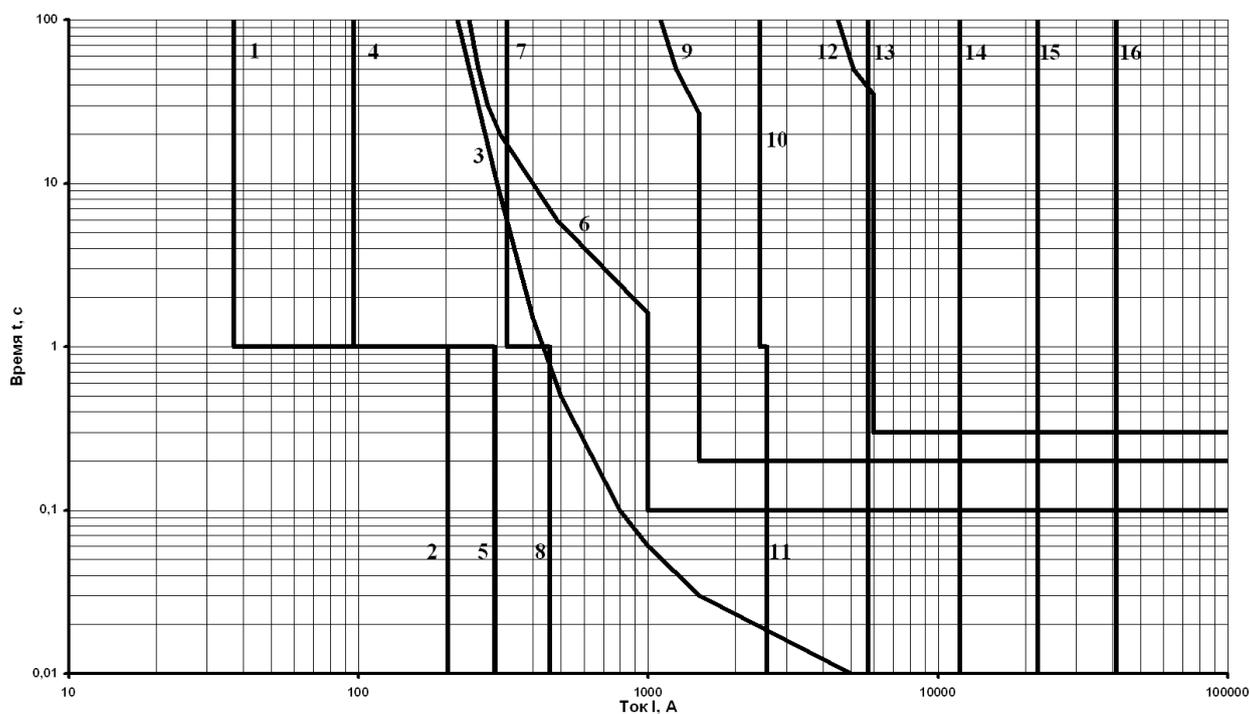


Рисунок 2.10.6 - Карта селективности действия защиты в установках до 1000 В

*Обозначения на карте селективности:*

- 1 – номинальный ток двигателя;
- 2 – пусковой ток двигателя;
- 3 – защитная характеристика плавкой вставки 100 А предохранителя ПН2–100;

- 4 – расчётный ток силового распределительного шкафа;
- 5 – пиковый ток силового распределительного шкафа;
- 6 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА57–35;
- 7 – расчетный ток РП;
- 8 – пиковый ток РП;
- 9 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА74–40;
- 10 – расчетный ток подстанции ТП-12;
- 11 – пиковый ток ТП-12;
- 12 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА74–45;
- 13, 14, 15, 16 – значения токов короткого замыкания в точках  $K_4$ ,  $K_3$ ,  $K_2$  и  $K_1$  соответственно.

## **Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **3.1 Общие сведения**

Целью данной работы является составление сметы на проектирование электроснабжения текстильного комбината и расчет сметы затрат на электрооборудование столярного цеха.

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, в котором определяются затраты, необходимые для выполнения полного объема необходимых работ.

Исходными материалами для определения сметной стоимости строительства объекта служат данные проекта по составу оборудования, объему строительных и монтажных работ; прейскуранты цен на оборудование и строительные материалы; нормы и расценки на строительные и 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. Генплан предприятия;
2. Генплан цеха по ремонту трансформаторов;
3. Расположение источника питания;
4. Сведения об электрических нагрузках;
5. План размещения электроприемников на корпусах;
6. Площадь корпусов и всей 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.

### 3.2 Планирование инженерного проекта

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 3.2.1).

Таблица 3.2.1 – План разработки выполнения этапов проекта

№ п/п	Перечень выполненных работ	Исполнители	Прод-сть, дн
1	Ознакомление с производственной документацией. Постановка задачи.	Руководитель	2
		Инженер	2
2	Подбор материалов по теме	Инженер	2
3	Изучение существующих объектов проектирования	Инженер	2
4	Расчет нагрузки цеха по ремонту трансформаторов	Инженер	8
5	Расчет электрических нагрузок по предприятию	Инженер	8
6	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Инженер	2
7	Выбор трансформаторов цеховых подстанций. Техникоэкономический расчет компенсирующих устройств	Инженер	5
8	Выбор трансформаторов ГПП. Технико-экономический расчет схемы внешнего электроснабжения	Руководитель	2
		Инженер	5
9	Расчет внутризаводской сети предприятия	Инженер	10
10	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.	Инженер	1
11	Выбор электрооборудования в сети выше 1000 В	Инженер	3
12	Расчет схемы электроснабжения цеха	Руководитель	2
		Инженер	10
13	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В.	Инженер	1
14	Расчет молниезащиты	Инженер	1
15	Расчет релейной защиты и автоматики	Инженер	1
16	Расчет эпюры отклонений напряжения	Инженер	3
17	Составление расчетно-пояснительной записки	Руководитель	2
		Инженер	20
18	Чертежные работы	Руководитель	2
		Инженер	20
Итого по каждой должности		Руководитель	10
		Инженер	104

Итого	104
-------	-----

На основе таблицы 3.2.1 построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта. В таблице 3.2.2 приведен календарный план-график с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 3.2.2 – Календарный план-график

№ п/п	Перечень выполненных работ	Исполнитель	Продолжительность выполнения работ											
			Февраль	Март			Апрель			Май			Июнь	
			3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Ознакомление с производственной документацией. Постановка задачи.	Руководитель												
		Инженер												
2	Подбор материалов по теме	Инженер												
3	Изучение существующих объектов проектирования	Инженер												
4	Расчет нагрузки цеха по ремонту трансформаторов	Инженер												
5	Расчет электрических нагрузок по предприятию	Инженер												
6	Построение картограммы нагрузок и определение ЦЭН	Инженер												
7	Выбор трансформаторов цеховых подстанций. Техноэкономический расчет компенсирующих устройств	Инженер												
8	Выбор трансформаторов ГПП. Техноэкономический расчет схемы внешнего электроснабжения	Руководитель												
		Инженер												
9	Расчет внутризаводской сети предприятия	Инженер												
10	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.	Инженер												



2) Расчет зарплаты

а) Месячная зарплата научного руководителя

$$I_{zn}^{мес} = 20час \bullet 300 = 6000 \text{ руб.},$$

где ЗП<sub>о</sub> – месячный оклад;

Д – доплата за интенсивность труда;

К<sub>1</sub> – коэффициент, учитывающий отпуск;

К<sub>2</sub> – районный коэффициент (1,3 для Томской области).

Зарплата научного руководителя с учетом фактически отработанных дней

$$I_{zn}^ф = \frac{I_{zn}^{мес}}{21} \bullet n = \frac{6000}{21} \bullet 10,0 = 2857,1 \text{ руб.},$$

Где n – количество отработанных дней по факту.

б) Месячная зарплата инженера

$$I_{zn}^{мес} = (ЗП_о + Д) \bullet K_2 \bullet K_1 = 14500,0 \bullet 1 \bullet 1,3 = 20735,0 \text{ руб.},$$

Зарплата инженера с учетом фактически отработанных дней

$$I_{zn}^ф = \frac{I_{zn}^{мес}}{21} \bullet n = \frac{20735,0}{21} \bullet 104,0 = 102687,6 \text{ руб.},$$

в) Итого ФЗП приведен

$$I_{фзп} = 2857,1 + 102687,6 = 105544,7 \text{ руб.},$$

Расчет месячных зарплат исполнителей и расчет ФЗП представлен в таблице 3.3.2.

Таблица 3.3.2 – Расчет ФЗП

Должность	ЗП, руб	Д, руб	К1	К2	$I_{zn}^{мес}$ , руб	п,дн	$I_{фзп}$
Руководитель							6000
Инженер	14500,0	-	1,10	1,3	20735,0	104	102687,6
Итого							105544,7

3) Отчисления в социальные фонды (соц. страхование, пенсионный фонд, мед. страховка) в размере 30% от ФЗП

$$I_{co} = 0,3 \cdot 105544,7 = 31663,4 \text{ руб.}$$

#### 4) Амортизация основных фондов

Основной объем работы был произведен на персональных компьютерах.

$$I_{ам} = \frac{T_{исп.КТ}}{T_{кал}} \cdot Ц_{КТ} \cdot \frac{1}{T_{сл}};$$

$$I_{ам} = \frac{104}{365} \cdot 30000,0 \cdot \frac{1}{5} = 1709,6 \text{ руб.}$$

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

$T_{кал} = 365$  – годового действительный фонд рабочего времени используемого оборудования;

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

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

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 3.3.3.

Таблица 3.3.3 – Амортизация основных фондов

Оборудование	Стоимость, руб	Количество	Тз, дне	Иам, руб
Компьютер инженера	30000,0	1	104	1709,6
Компьютер руководителя	30000,0	1	10	164,4
Принтер	5000,0	1	8	21,9
Итого $I_{ам}$ , руб	-	-		1895,9

5) Прочие расходы (услуги связи, затраты на ремонт оборудования...) в размере 10% от ФЗП, затрат на материалы, амортизацию и отчислений в социальные фонды

$$I_{пр} = 0,1 \cdot (I_{ФЗП} + I_{mat} + I_{ам} + I_{co}) =$$

$$= 0,1 \cdot (105544,7 + 960,0 + 1895,9 + 31663,4) = 140064 \text{ руб.}$$

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

$$I_{накл} = 0,16 \cdot I_{ФЗП} = 0,16 \cdot 105544,7 = 16887,1 \text{ руб.}$$

7) Затраты на разработку проекта (себестоимость)

$$\begin{aligned} \sum I &= I_{\text{фзп}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{со}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}} = \\ &= 105544,7 + 960,0 + 1895,9 + 31663,4 + 140064 + 16887,1 = \\ &= 297015,1 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Расчет сметы затрат на разработку проекта сведем в таблицу 3.3.4.

Таблица 3.3.4 – Калькуляция сметной стоимости на выполнение проекта

№ статьи	Наименование статей расхода	Сумма, руб.
1	$I_{\text{фзп}}$	105544,7
2	Материалы Имат	960,0
3	Амортизация основных фондов Иам	1895,9
4	Социальные отчисления Исо	31663,4
5	Прочие расходы Ипр	140064
6	Накладные расходы Инакл	16887,1
Цена проекта $\sum I$		297015,1

### 3.4 Формирование варианта оборудования

Таблица 3.4.1 – Матрица структурного решения выбора

№ параметра	Морфологический признак (параметр)	Вид (способ) исполнения		
		1	2	3
1	Вид тока	постоянный	импульсный	переменный
2	Охлаждение трансформаторов	охлаждение с естественной циркуляцией воздуха и масла	охлаждение с принудительной циркуляцией масла	Естественная циркуляция воздуха
3	Материал кабеля	Алюминий	Медь	-
4	Марка кабеля	ААШв	АПвП	АСБ
5	Защитная аппаратура	Плавкие предохранители	Автоматические предохранители	-
6	Силовые распределительные пункты	Щиты распределительные	Типовое РП	-
7	Схема внутрицехового электроснабжения	Радиальная	Магистральная	-
<b>Вариант решения</b>				

### 3.5 Смета затрат на электрооборудование

Смета затрат на электрооборудование рассматриваемого цеха приведена в таблице 3.5.1.

Таблица 3.5.1 – Смета затрат на электрооборудование рассматриваемого цеха

№ п/п	Наименование оборудования	Единицы измерения	Количество	Сметная стоимость, тыс. руб.		Общая стоимость, тыс. руб.	
				Оборудование	Монтаж	Оборудование	Монтаж
1	ТМН – 1000 35/10	шт	2	1200,0	100,0	2400,0	200,0
2	ВПМП-10-630-31,5У3	шт	5	63,0	56,0	315,0	280,0
3	ТПЛ 10-У3	шт	5	50,0	9,0	250,0	45,0
	ЗНОЛ.09	шт	2	20,0	5,0	40,0	10,0
4	РУ 10	шт	10	12,0	2,0	120,0	20,0
	Автомат ВА57-35	шт	16	2,9	0,6	46,4	9,6
	Автомат ВА13-25	шт	9	4,2	2,3	37,8	20,7
	Автомат ВА74-45	шт	2	44,0	9,0	88,0	18,0
6	Кабель АСБ(3х16)	км	0,100	238,0	40,0	23,8	4,0
	Кабель АСБ(3х50)	км	0,065	324,0	45,6	21,1	3,0
	Кабель АСБ(3х70)	км	0,065	475,0	53,0	30,9	3,4
	Кабель АВВГ(4х4)	км	0,058	12,6	5,2	0,7	0,3
	Кабель АВВГ(4х19)	км	0,065	37,0	7,4	2,4	0,5
	Кабель АВВГ(4х25)	км	0,012	55,3	11,0	0,7	0,1
	Кабель АВВГ(4х35)	км	0,010	75,1	15,2	0,8	0,2
	Кабель АВВГ(4х50)	км	0,008	105,0	20,0	0,8	0,2
Итого по цеху, тыс. руб						3378,3	614,9

Полная стоимость затрат на разработку проекта, оборудование и монтаж

$$K = \sum I + K_{об} + K_{монт} = 418,2 + 3378,3 + 614,9 = 4411,4 \text{ тыс.руб.}$$

## Заключение

Итак, в работе рассчитана сеть электроснабжения столярного цеха текстильного комбината.

В результате расчетов были определены:

1 полная расчетная нагрузка столярного цеха методом упорядоченных диаграмм:

2 полная суммарная нагрузка завода в целом.

3 полная расчетная мощность завода:  $S=10290$  кВА.

По результатам расчета нагрузки по цехам завода построена картограмма нагрузок для потребителей 0,4 кВ и для потребителей 10 кВ, определен центр нагрузок. Установка ГПП в центре электрических нагрузок оказалась невозможной, в результате ГПП смещено в сторону питающей линии.

Определено число ( $N=7$  шт) и мощность ( $S=1600$  кВА) цеховых силовых трансформаторов и произведено их распределение по цехам завода.

Электроснабжение завода осуществляется от подстанции энергосистемы, которая находится на расстоянии 13 км от завода. Питание предприятия по двухцепной воздушной линии напряжением 110 кВ. Линия выполнена воздушным проводом АС-70. На ГПП, с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей второй категории, устанавливаются два трансформатора ТДН-16000/110. На стороне 110 кВ принята упрощенная схема коммутации «отделитель- короткозамыкатель».

На стороне 10 кВ ГПП используется одинарная система шин с секционным выключателем. РУ 10 кВ выполняется из шкафов КРУ с выключателями на выкатных тележках. Питание цеховых трансформаторов осуществляется по дву- и одноцепным кабельным линиям напряжением 10 кВ марки АСБ.

Произведен выбор автоматических выключателей на цепочке «ТП – самый мощный ЭП цеха», а также для ответвлений РП, питающего механический цех. Выбраны кабели, питающие распределительные шкафы

(0,4 кВ), типа АНРГ и провода ответвлений к электроприемникам типа АПВ.

По результатам расчетов построены эпюры отклонений напряжения для максимального и минимального режимов (однотрансформаторная подстанция). Анализ эпюр показал, что во всех режимах отклонение напряжения не превышает максимально допустимого  $\pm 5\%$ .

По результатам расчета токов КЗ в сети 0,4 кВ построена карта селективности действия защитных аппаратов. По карте видно, что все аппараты защиты работают селективно..