

**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 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Профиль Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Компенсация реактивной мощности в электросетях промышленных предприятий при наличии электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой</b>

УДК – 658.26:621.313.325.016.25

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Е	Апрелев И.В.		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель профиля ООП	Обухов С.Г.	д.т.н., доцент		

Томск – 2018г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результ ата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая

<b>Код результ ата</b>	<b>Результат обучения</b>
	критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

**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 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Профиль Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель профиля ООП

\_\_\_\_\_      \_\_\_\_\_      Обухов С.Г.  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**магистерской диссертации**

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

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ63	Апрелеву Игорю Викторовичу

Тема работы:

Компенсация реактивной мощности в электросетях промышленных предприятий при наличии электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой

Утверждена приказом директора (дата, номер)

19.02.2018г., №1130/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Объектом исследования является электротехнический цех ремонтно-механического завода. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- генеральный план завода;</li><li>- план инструментального цеха;</li><li>- сведения об электрических нагрузках завода;</li><li>- сведения об электрических нагрузках электротехнического цеха;</li><li>- сведения об электрических нагрузках распределительного устройства №2</li></ul>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- постановка задачи проектирования;</li> <li>- проектирование системы электроснабжения рассматриваемого завода;</li> <li>- рассмотрение особенностей влияния электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой на компенсацию реактивной мощности в электрической сети бкВ;</li> <li>- обсуждение результатов выполненной работы;</li> <li>- разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;</li> <li>- разработка раздела «Социальная ответственность»;</li> <li>- заключение.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- картограмма электрических нагрузок предприятия;</li> <li>- план внутривзаводского электроснабжения;</li> <li>- однолинейная схема распределительного устройства №2.</li> </ul>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Раздел</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Консультант</b></p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Доцент ОСГН – Фигурко А.А.</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Доцент ОКД – Амелькович Ю.А.</p>
<p>«Раздел на английском языке»</p>	<p>Доцент ОИЯ – Матухин Д.Л.</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p><b>Introduction, object and research methods to chapter 2.4.</b></p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Дмитрий Юрьевич	К.Т.Н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Е	Апрелев Игорь Викторович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM6E	Апрелеву Игорю Викторовичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	Электроэнергетика и электротехника
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определить стоимость материально-технических ресурсов научно-исследовательской работы. Исходные данные: Обмоточный провод марки ПЭТД2-К-180.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ТУ 16-705-264-82 – Провода медные круглые с двухслойной изоляцией. МЭК 60317-22 – Провода обмоточные.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на страховые взносы – 30 % от ФОТ

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	проведены оценка конкурентоспособности и SWOT-анализ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработка устава не требуется.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	формирование плана и графика разработки: Планирование и бюджет проекта разработка диаграммы денежных ресурсов расчет сметы затрат риски проекта
4. Определение ресурсной эффективности, финансовой, экономической эффективности	эффективность замены обмоточного провода.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Сетевой график; 2. Диаграмма денежных ресурсов; 3. Диаграмма трудовых ресурсов.
--

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM6E	Апрелев Игорь Викторович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5АМ6Е	Апрелеву Игорю Викторовичу

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	<b>Отделение</b>	Отделение электроэнергетики и электротехники (ОЭЭ)
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление</b>	13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</i>	Объектом исследования являются электроприемник с нелинейной вольт - амперной характеристикой.
--	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Производственная безопасность</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.</li> <li>2. Обоснование мероприятий по защите персонала от действия опасных и вредных факторов.</li> </ol>
<i>2. Экологическая безопасность.</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду</li> </ol>
<i>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.</li> <li>2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.</li> </ol>
<i>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия.</li> </ol>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	19.02.2018
---	------------

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Амелькович Ю.А.	к.т.н., доцент		19.02.2018

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5АМ6Е	Апрелев Игорь Викторович		19.02.2018

## Реферат

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

Объектом исследования является трансформаторный цех электротехнического завода.

Цель работы: разработать систему электроснабжения промышленного предприятия. Экономически обосновать принятые решения.

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

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

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: исследуемый завод состоит из пятнадцати цехов, из них шесть цехов относятся ко второй категории по степени надежности электроснабжения; напряжение питающей линии 110 кВ; рабочие напряжения внутри завода: 10, 0,4 кВ; схема внутривозводской сети – смешанная.

Область применения: среднее машиностроение с нормальной средой в производственных помещениях.

## Принятые условные сокращения

- АД - Асинхронный двигатель
- АФ - Активный фильтр
- БПФ - Быстрое преобразование Фурье
- ВАХ - Вольт-амперная характеристика
- ВГ - Высшие гармоники
- ВК - Выходной каскад
- ГОН - Генератор опорного напряжения
- ГФ - Гибридный фильтр
- ДН - Датчик напряжения
- ДТ - Датчик тока
- ДТ/ДТ - Преобразователь числа фаз с переменного тока одной частоты в переменный ток той же частоты с другим числом фаз
- ДТ/ОТ - Преобразователь переменного тока в постоянный
- ИГ - Интергармоники
- КБ - Конденсаторные батареи
- КЗ - Короткое замыкание
- КРМ - Компенсация реактивной мощности
- КУ - Конденсаторные установки
- МУ - Множительное устройство
- МЭК - Международная электротехническая комиссия
- ОТ/ДТ - Преобразователь постоянного тока в переменный (инвертор)
- ОТ/ОТ - Преобразователь постоянного тока в постоянный
- ПКЭ - Показатели качества электроэнергии
- ПП - Промышленное предприятие
- ПЧЗ - Статический преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока
- РМ - Реактивная мощность
- РП - Распределительный пункт

## Оглавление

Введение .....	12
1. Объект и методы исследования.....	16
2. Расчеты и аналитика. ....	18
2.1. Определение расчетной нагрузки трансформаторного цеха. ....	19
2.2. Последовательность расчета методом коэффициента расчетной мощности.....	20
2.3. Определение расчетной нагрузки предприятия в целом .....	26
2.4. Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций .....	31
2.5. Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия .....	34
2.6. Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых трансформаторных подстанций и уточнение их нагрузки .....	34
2.7. Расчет потерь мощности в цеховых трансформаторах. ....	37
2.8. Определение мощности батарей конденсаторов в сетях выше 1 кВ. ....	37
2.9. Выбор мощности трансформаторов ГПП.....	41
2.10. Выбор сечения линии, питающей ГПП .....	41
2.11. Выбор сечений линий питающей сети цеха .....	46
2.12. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1 кВ.....	51
2.13. Выбор высоковольтного оборудования.....	567
2.14. Электроснабжение трансформаторного цеха.....	62
2.15. Распределение приемников по пунктам питания .....	63
2.16. Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры напряжением до 1 кВ.....	63
2.17. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В .....	72
2.18. Расчет электрической сети по потере напряжения.....	77
2.19. Построение карты селективности действия аппаратов защиты.....	80
2.20. Компенсация реактивной мощности в электросетях промышленных предприятий с нелинейной вольт-амперной характеристикой защиты .....	82
2.20.1. Расчет гармонического состава фазных токов и напряжений выпрямителя .....	83
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. ....	88
3.1. SWOT-анализ работы электротехнического завода. ....	88
3.2. Организация работ технического проекта.....	91
3.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования.....	92
3.2.2. Определение трудоемкости выполнения технического проекта .....	94
3.2.3. Разработка графика проведения технического проектирования.....	95
3.3. Определение сметы затрат на технический проект .....	98
3.3.1. Расчет материальных затрат .....	98

3.3.2. Полная заработная плата исполнителей темы .....	99
3.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	101
3.3.4. Накладные расходы .....	101
3.4. Формирование сметы технического проекта .....	102
3.5. Определение ресурсоэффективности проекта .....	102
4. Социальная ответственность .....	105
4.1. Производственная безопасность .....	106
4.1.1. Анализ опасных и вредных факторов .....	106
4.1.2. Анализ вредных факторов.....	106
4.1.3. Анализ опасных факторов.....	113
4.2. Экологическая безопасность.....	116
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	119
4.4. Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности .....	121
Заключение .....	125
Литература .....	127
Приложение А – Раздел ВКР на иностранном языке. ....	131
Приложение Б - Однолинейная схема РУ №2.....	147

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Все потребители электрической энергии потребляют как активную мощность, так и реактивную (РМ). При передаче реактивной мощности от «Генерации» до конечного потребителя в электрических сетях происходят дополнительные потери активной мощности. Данные потери получается снизить за счет разгрузки сети по реактивной мощности. А это достигается, если устанавливать источники реактивной мощности непосредственно на шинах потребителей электрической энергии.

В результате снижения  $\cos\phi$  в электрических сетях происходит увеличение потерь электроэнергии. Реактивная мощность, помимо влияния на потери в электрических сетях, оказывает влияние и на режимы в энергетических системах, а именно на ее устойчивость. Наличие источников реактивной мощности положительно сказывается на уровни напряжения в электрических сетях и на шинах потребителей, т.е. на промышленных предприятиях.

Проблемам по компенсации реактивной мощности посвящено множество публикаций, среди которых можно отметить работы Абрамовича Б.Н., Алтунина Б.Ю., Белоусова В.Н., Вагина Г.Я., Вахниной В.В., Веникова В.А., Воротницкого В.Э., Германа Л.А., Глушкова В.М., Грибина В.П., Добрусина Л.А., Еремина О.И., Жежеленко И.В., Железко Ю.С., Зорина В.В., Карпова Ф.Ф., Ковалева И.Н., Корнилова Г.П., Кузнецова А.В., Лоскутова А.Б., Мельникова Н.А., Пекелиса В.Г., Рогальского Б.С., Салтыкова В.М., Серебрякова А.С. и многих других [27].

Проблема компенсации реактивной мощности актуальна и на сегодняшний день, так как в настоящее время на промышленных предприятиях возрастает количество электроприемников, имеющих несинусоидальный или резко-переменный режим работы. Такие электроприемники называют специфическими. Они в свою очередь, затрудняют решение данной проблемы. Также возросло количество новых источников реактивной мощности, а вместе с этим необходимо иметь четкие рекомендации по выбору новых источников и области их применения. Настоящая работа посвящена решению данных вопросов.

Объект исследования - система электроснабжения электротехнического завода, в частности – специфические электроприемники, расположенные на данном предприятии.

Предмет исследования - источники реактивной мощности в сетях с нелинейной ВАХ, их выбор и оптимальное размещение на предприятии.

Цель работы – произвести выбор источников реактивной мощности на предприятии, имеющей ЭП с нелинейной ВАХ, с учетом их влияния на данные источники.

**Задачи исследования.** В данной работе решаются следующие вопросы и задачи:

- 1) Проводим расчет нагрузки заданного предприятия с наличием ЭП с нелинейной ВАХ.
- 2) Выбор числа и мощности ТП и вспомогательного оборудования для каждого цеха.
- 3) Разработка схемы внешнего электроснабжения. Расчет питающего напряжения, расчет основного и вспомогательного оборудования ГПП.
- 4) Расчет аварийного режима в электрической сети предприятия.
- 5) Анализ и исследование потребителей реактивной мощности на промышленном предприятии.
- 6) Анализ и исследование применения ИРМ для компенсации реактивной мощности в электрической сети предприятия при наличии электроприемников с нелинейной ВАХ.
- 7) Разработка оптимального способа компенсации реактивной мощности на данном предприятии на шинах напряжением до и выше 1000 В.

**Научная новизна работы.**

- 1) Разработаны основные положения компенсации реактивной мощности в современных условиях кардинального изменения стоимостных показателей электрооборудования и потерь электроэнергии, отличающиеся тем, что:

- в сетях 0,4 кВ предлагается полная компенсация реактивной мощности в соответствии с проведенными исследованиями;
- уточнены способы компенсации реактивной мощности на шинах 6(10) кВ, а именно, на действующих предприятиях выгодно применять СД с частотой вращения более 1000 об./мин. и мощностью более 1000 кВт, а на вновь проектируемых предприятиях оптимальным вариантом является установка конденсаторных батарей;

2) Проведенные исследования существующих и перспективных источников реактивной мощности для промышленных предприятий со специфическими электроприемниками, с рассмотрением удельных потерь мощности, сравнительных удельных стоимостных характеристик и области их предпочтительного применения, позволяют выбирать на первой стадии проектирования оптимальные варианты компенсации реактивной мощности.

3) Для промышленных предприятий со специфическими электроприемниками, имеющими нелинейные вольтамперные характеристики, обоснована новая методика расчета компенсации РМ с применением узкополосных фильтров, в которой:

- определен порядок расчета количества фильтров;
- определены резонансные частоты фильтров;
- определены мощности фильтров;

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, 3 приложения и содержит 80 страниц основного текста.

## 1. Объект и методы исследования.

Объектом исследования является электротехнический завод в целом (рис.1.1, табл.1.1) и его трансформаторный цех в частности (рис.1.2, табл.1.2).

Исходные данные:

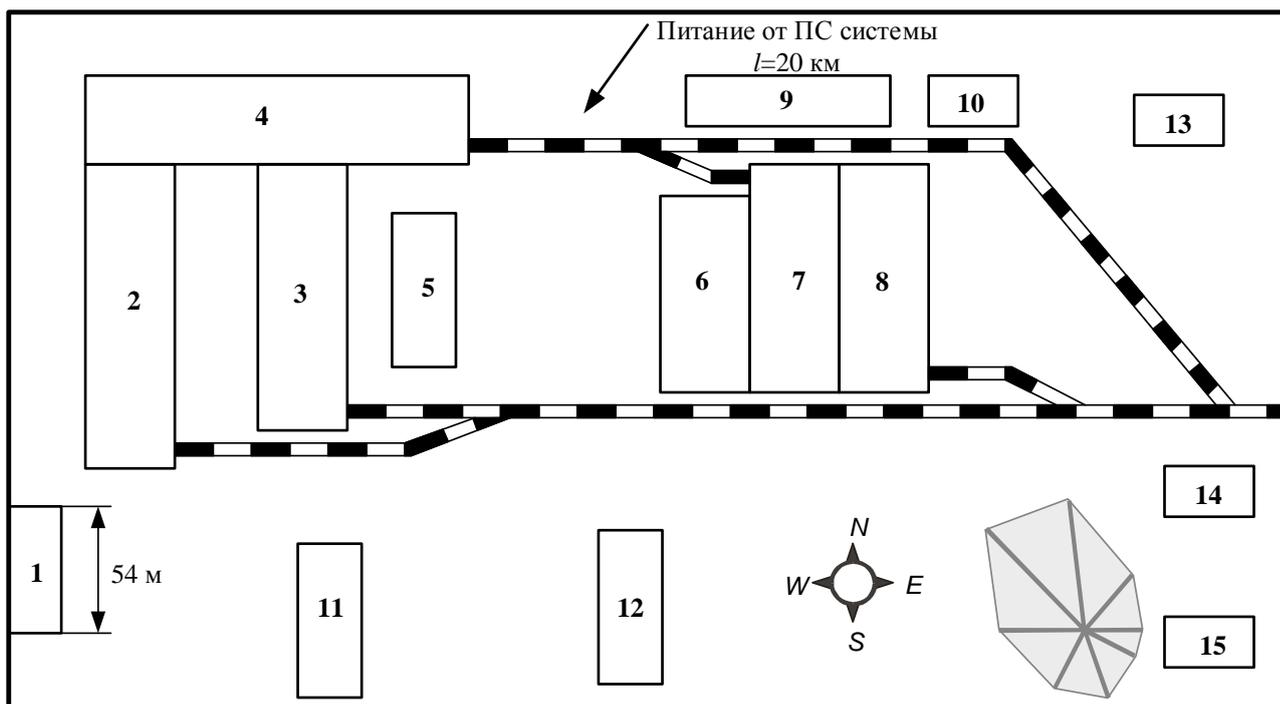


Рисунок 1.1 - Генплан территории предприятия

Таблица 1.1 - Сведения об электрических нагрузках завода

№	Наименование цеха	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт
1	Инженерный центр	675
2	Трансформаторный 0,38 кВ - испытательная станция 6 кВ	--- 7500
3	Крупных машин 0,38 кВ - испытательная станция 6 кВ	5834 700
4	Гидрокорпус 0,38 кВ - испытательная станция 6 кВ	4918 6900
5	Преобразовательной техники	480

Продолжение таблицы 1.1

6	Высоковольтных аппаратов 0,38 кВ - испытательная станция 6 кВ	2103 4000
7	Сборки компонентов	1510
8	Служба эксплуатации и ремонта	556
9	Службно-бытовые помещения	410
10	Очистные сооружения	255
11	Ремонтно-механический	650
12	Инструментальный	350
13	Компрессорная 0,38 кВ - испытательная станция 6 кВ	250 1250
14	Лаборатория	350
15	Склад	150

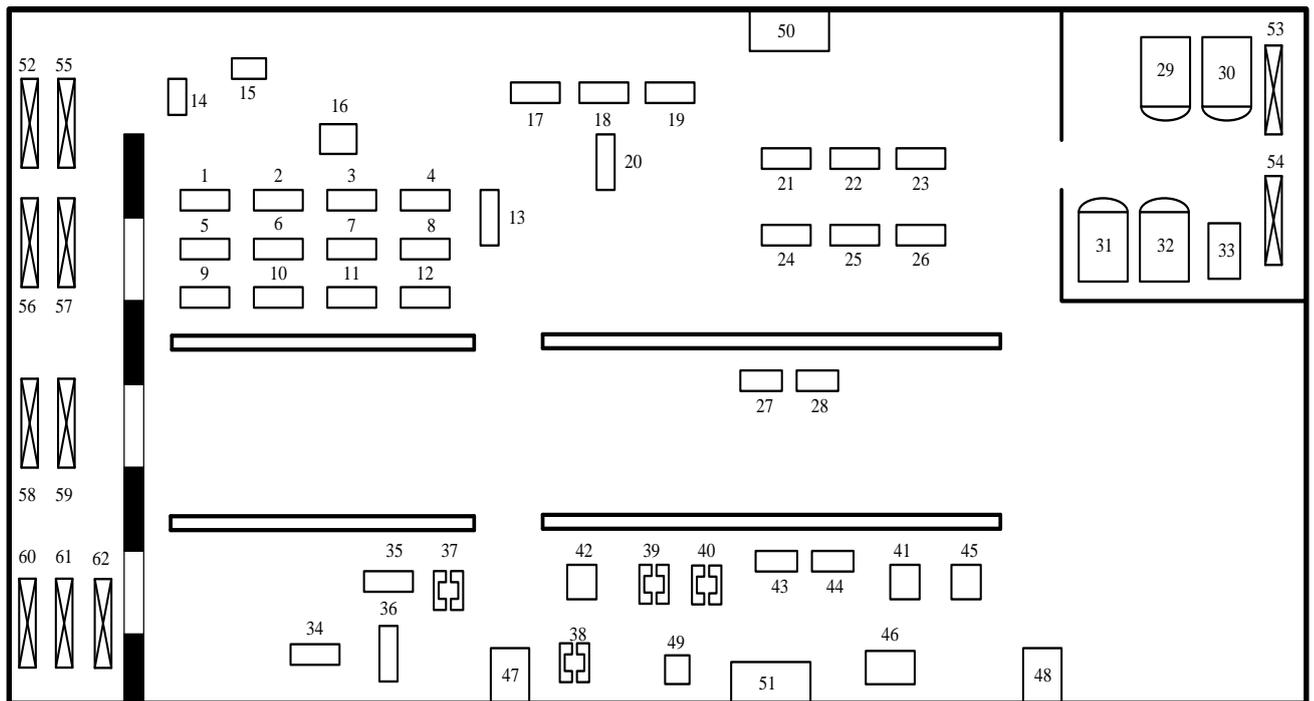


Рисунок 1.2 – Генплан трансформаторного цеха

Таблица 1.2 - Сведения об электрических нагрузках трансформаторного цеха

№	Наименование	$P_{\text{ном}}$ , кВт
1	Токарно-винторезный станок с ЧПУ	15
2-5	Токарно-винторезный станок	10
6-8	Вертикально-сверлильный станок	4,5
9-11	Радиально-сверлильный станок	8
12	Вертикально-фрезерный станок	17
13	Горизонтально-фрезерный станок	12
14	Лаквальцы	3
15	Пресс эксцентриковый	4
16	Станок для фрезеровки картонных колец	7,5
17-26	Горизонтально-намоточный станок	17
27	Трансформатор для пайки медных шин, ПВ=40%	100
28	Ванна лудильная	40
29-32	Электропечь для сушки обмоток	168
33	Тельфер	20
34,35	Очистная установка	13
36	Установка для подогрева трансформаторного масла	120
37-40	Леса механические	10
41,42	Печь вакуумная	55
43,44	Трансформатор для пайки медных шин, ПВ=40%	76
45	Насос	37
46	Стенд для сборки магнитопровода	17
47,48	Механическая тележка	10
49	Преобразователь сварочный, ПВ=40%	15
50,51	Вентиляционная установка	55
52-54	Кран-балка, ПВ=25%	10
55	Кран-балка, ПВ=50%	71,5
56-59	Кран-балка, ПВ=50%	35,2
60,61	Кран-балка, ПВ=50%	142
62	Кран-балка, ПВ=50%	187

## 2. Расчеты и аналитика.

### 2.1. Определение расчетной электрической нагрузки трансформаторного цеха.

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

С 1993 г. основным и обязательным нормативным документом по определению электрических нагрузок промышленных предприятий является [9], в основу которых положен модифицированный статистический метод. Данный метод позволил избежать значительного завышения расчетной нагрузки за счет коррекции среднего значения групповой нагрузки. Указания, по расчету устанавливают порядок расчета электрических нагрузок по методу коэффициента расчетной активной мощности.

Расчетная активная мощность  $P_p$  – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке  $I_p$ , которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения.

Коэффициент расчетной мощности  $K_p$  – это отношение расчетной активной мощности  $P$  к значению  $K_n P_n$  группы электроприемников.

Расчет электрических нагрузок электроприемников напряжением до 1 кВ выполняется по форме Ф636-92 и производится для каждого узла питания (распределительного пункта, распределительного или магистрального шинпровода, цеховой трансформаторной подстанции), а также по цеху, корпусу в целом.

## 2.2. Последовательность расчета методом коэффициента расчетной мощности.

Исходные данные для расчета (графы 1 – 6). Графы (1– 4) заполняются на основании полученного задания на проектирование (графы 5, 6) – согласно справочным материалам все электроприемники группируются по характерным категориям с одинаковыми коэффициентами использования  $K_{и}$  и реактивной мощности  $\operatorname{tg}\varphi$  ( $\cos\varphi$ ). При наличии в справочных материалах интервальных значений  $K_{и}$  следует для расчета принимать наибольшее значение. В каждой строке указываются электроприемники одинаковой мощности. При этом резервные электроприемники в расчете не учитываются, а номинальная мощность электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы не приводится к длительному режиму ( $P_{В} = 100 \%$ ).

Далее для каждой характерной группы ЭП в графах 7 и 8 соответственно записываются построчно величины  $K_{и} \cdot P_{н}$  и  $K_{и} \cdot P_{н} \cdot \operatorname{tg}\varphi$ . В итоговой строке определяются суммы этих величин:

$$\sum K_{и} \cdot P_{н} \text{ и } \sum K_{и} \cdot P_{н} \cdot \operatorname{tg}\varphi.$$

Средневзвешенный (групповой) коэффициент использования для данного узла питания определяется по формуле:

$$K_{и.гр.} = \frac{\sum K_{и} \cdot P_{н}}{\sum P_{н}}.$$

Значение  $K_{и.гр.}$  заносится в графу 5 итоговой строки.

Для последующего определения эффективного числа ЭП  $n_{э}$  в графе 9 построчно определяются для каждой характерной группы ЭП одинаковой мощности  $n p^2$  и в итоговой строке – их суммарное значение  $\sum n \cdot p^2$ .

Эффективным числом ЭП называется такое число однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности ЭП.

Эффективное число ЭП определяется по формуле:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum P_H^2 \cdot n}$$

Найденное по формуле значение  $n_{\text{Э}}$  округляется до ближайшего меньшего целого числа.

Расчетная активная мощность подключенных к узлу питания ЭП напряжением до 1000 В (графа 12) определяется по формуле:

$$P_P = K_P \cdot \sum K_H \cdot P_H$$

Расчетная реактивная мощность подключенных к узлу питания ЭП напряжением до 1000 В (графа 13) определяется следующим образом. Для питающих сетей напряжением до 1000 В в зависимости от  $n_{\text{Э}}$ :

$$\text{при } n_{\text{Э}} \leq 10, Q_P = 1,1 \sum K_H \cdot P_H \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВар};$$

$$\text{при } n_{\text{Э}} > 10, Q_P = \sum K_H \cdot P_H \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВар};$$

Полная расчетная мощность (графа 14) определяется по формуле:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}, \text{ кВА}$$

К расчетной активной и реактивной мощности силовых ЭП напряжением до 1000 В при необходимости должны быть добавлены осветительные нагрузки  $P_{P.O.}$  и  $Q_{P.O.}$ . Тогда полная расчетная мощность составит:

$$S_P = \sqrt{(P_P + P_{P.O.})^2 + (Q_P + Q_{P.O.})^2}, \text{ кВА}$$

Электроснабжение трансформаторного цеха будем осуществлять по схеме, представленной на рисунке 2.2.1.

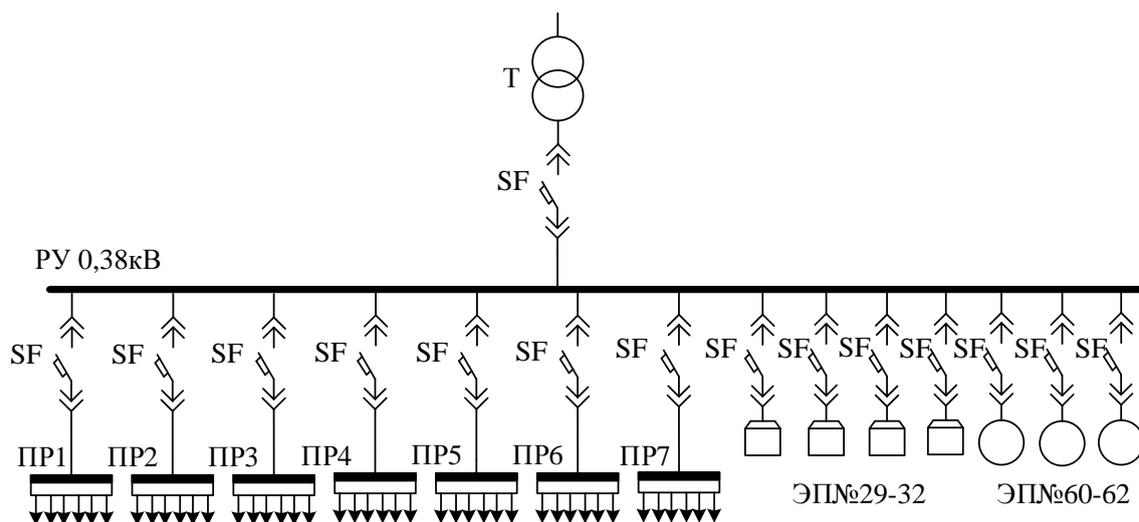


Рисунок 2.2.1 - Радиальная схема электроснабжения трансформаторного цеха

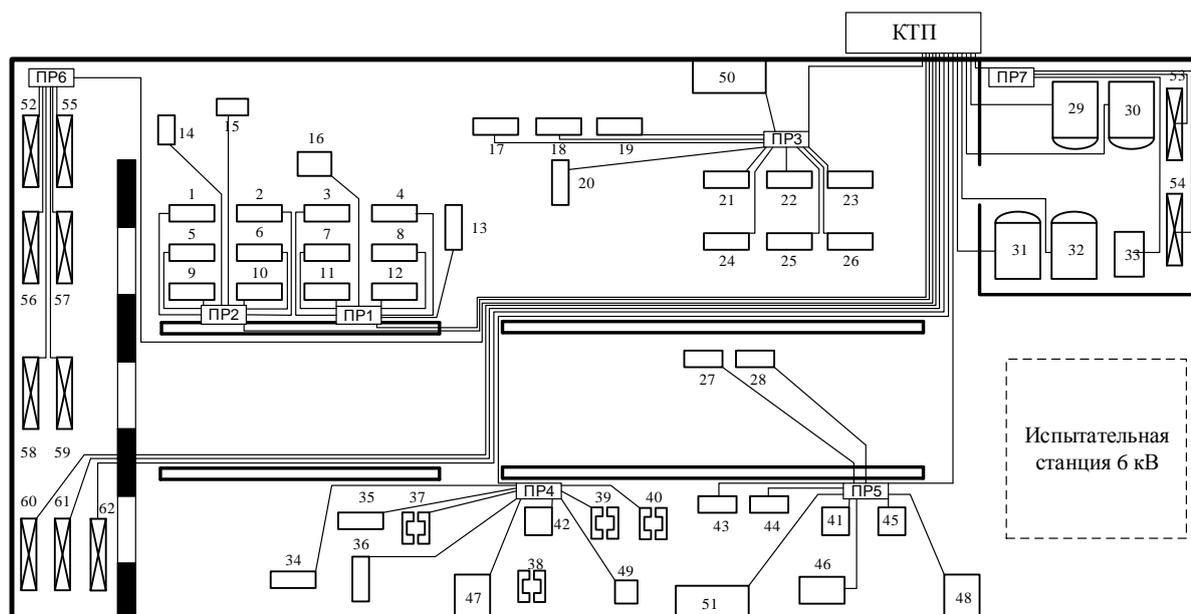


Рисунок 2.2.2 - Схема электроснабжения трансформаторного цеха

Большинство ЭП распределили по распределительным пунктам (ЭП). Наиболее мощные ЭП присоединили непосредственно к распределительному устройству (РУ) КТП.

В ПП1 входят токарно-винторезные станки, вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, горизонтально-сверлильные станки, с  $K_H = 0,14$  и  $\cos \varphi = 0,5$ . На основании этого мы можем объединить все станки в группу и в

последующем называть их, как станки разные. То же самое будет относиться и к другим ПР, в которых имеются однородные по режиму работы ЭП.

Значения  $K_{и}$  и  $\cos\varphi$ , необходимые для расчета электрических нагрузок приведены в таблице 2.2.1.

Таблица 2.2.1– Справочные данные для ЭП трансформаторного цеха

Наименование ЭП	Коэффициент использования $K_{и}$	$\cos(\varphi)$
Токарно-винторезный станок с ЧПУ	0,60	0,70
Токарно-винторезный станок	0,14	0,50
Вертикально-сверлильный станок	0,14	0,50
Радиально-сверлильный станок	0,14	0,50
Вертикально-фрезерный станок	0,14	0,50
Горизонтально-фрезерный станок	0,14	0,50
Лаквальцы	0,25	0,65
Пресс эксцентриковый	0,25	0,65
Станок для фрезеровки картонных колец	0,14	0,50
Горизонтально-намоточный станок	0,14	0,50
Трансформатор для пайки медных шин, ПВ=40%	0,50	0,50
Ванна лудильная	0,35	0,70
Электропечь для сушки обмоток	0,80	0,95
Тельфер	0,20	0,55
Очистная установка	0,24	0,65
Установка для подогрева трансформаторного масла	0,75	0,95
Леса механические	0,30	0,70
Печь вакуумная	0,75	0,95
Трансформатор для пайки медных шин, ПВ=40%	0,50	0,50
Насос	0,70	0,80
Стенд для сборки магнитопровода	0,40	0,65
Механическая тележка	0,1	0,50
Преобразователь сварочный, ПВ=40%	0,50	0,50
Вентиляционная установка	0,60	0,75
Кран-балка, ПВ=25%	0,06	0,45
Кран-балка, ПВ=50%	0,1	0,45

\* Данные табл.2.2.1 приняты согласно [1, табл. 1.7].

Таблица 2.2.2– Расчет нагрузок трансформаторного цеха

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ						Расчетные величины			Эффективное число ЭП, пэ	Коэффициент расчетной нагрузки, Кр	Расчетная мощность и ток				
По заданию технологов				По справочным данным		Ки·Рн	Ки·Рн·tg(φ)	п·рн <sup>2</sup>			Кр	Кр Кр	Рр=Кр·∑Ки·Рн кВт	Qр=1,1·Ки·Рн·tg(φ) при пэ<10 Qр=Ки·Рн·tg(φ) при пэ>10 кВар	Sp = √Pp <sup>2</sup> + Qp <sup>2</sup> кВА
Наименование ЭП	Количество электроприемников в шт.	Установленная мощность, кВт		Коэффициент использования Ки	Коэффициенты реактивной мощности cos(φ)/tg(φ)										
		Одного ЭП, рн	Общая Рн=прн												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<b>ПР1</b>															
Станки разные	2	10	20	0,14	0,5/1,73	2,8	4,84	200							
	2	4,5	9	0,14	0,5/1,73	1,26	2,18	40,5							
	1	8	8	0,14	0,5/1,73	1,12	1,94	64							
	1	17	17	0,14	0,5/1,73	2,38	4,12	289							
	1	12	12	0,14	0,5/1,73	1,68	2,91	144							
	1	7,5	7,5	0,14	0,5/1,73	1,05	1,82	56,25							
<b>Итого по ПР1</b>	8		73,5	0,14		10,29	17,81	793,75	6	1,11	11,42	19,59	22,68	34,46	
<b>ПР2</b>															
Станки разные	2	10	20	0,14	0,5/1,73	2,8	48,44	200							

Продолжение таблицы 2.2.2

	1	4,5	4,5	0,14	0,5/1,73	0,63	1,09	20,25						
	2	8	16	0,14	0,5/1,73	2,24	3,88	128						
Лаквальцы	1	3	3	0,25	0,65/1,17	0,75	0,88	9						
Пресс эксцентриковый	1	4	4	0,25	0,65/1,17	1	1,17	16						
Станок с ЧПУ	1	15	15	0,6	0,7/1,02	9	10,8	225						
<b>Итого по ПР2</b>	8		62,5	0,26		16,42	66,26	598,25	6	0,95	15,6	72,89	74,54	113,25
<b>ПР3</b>														
Горизонтально-намоточные станки	10	17	170	0,14	0,5/1,73	23,8	41,17	2890						
Вентиляционная установка	1	55	55	0,6	0,75/0,88	33	29,04	3025						
<b>Итого по ПР3</b>	11		225	0,25		56,8	70,21	5915	8	0,9	51,12	77,23	92,62	140,72
<b>ПР4</b>														
Очистная установка	2	13	26	0,24	0,65/1,17	6,24	7,3	338						
Леса механические	4	10	40	0,3	0,7/1,02	12	12,24	400						
Механическая тележка	1	10	10	0,1	0,5/1,73	1	1,73	100						
Преобразователь сварочный, ПВ=40%	1	15	15	0,5	0,5/1,73	7,5	12,98	225						
Установка для подогрева трансформаторного масла	1	120	120	0,75	0,95/0,33	90	29,7	14400						
Печь вакуумная	1	55	55	0,75	0,95/0,33	41,25	13,61	3025						
<b>Итого по ПР4</b>	10		266	0,59		157,99	77,56	18488	3	1,1	173,79	85,32	193,60	294,14
<b>ПР5</b>														
Трансформатор для пайки медных шин, ПВ=40%	2	76	152	0,5	0,5/1,73	76	131,48	11552						
Стенд для сборки магнитопровода	1	17	17	0,4	0,65/1,17	6,8	7,96	289						
Механическая тележка	1	10	10	0,1	0,5/1,73	1	1,73	100						

## Продолжение таблицы 2.2.2

Трансформатор для пайки медных шин, ПВ=40%	1	100	100	0,5	0,5/1,73	50	86,5	10000						
Ванна лудильная	1	40	40	0,35	0,7/1,02	14	14,28	1600						
Печь вакуумная	1	55	55	0,75	0,95/0,33	41,25	13,61	3025						
Насос	1	37	37	0,7	0,8/0,75	25,9	19,43	1369						
Вентиляционная установка	1	55	55	0,6	0,75/0,88	33	29,04	3025						
<b>Итого по ПР5</b>	9		377	0,62		233,95	304,03	30960	4	0,99	231,61	334,73	407,05	618,45
<b>ПР6</b>														
Кран-балка, ПВ=25%	1	10	10	0,06	0,45/1,99	0,6	1,19	100						
Кран-балки, ПВ=50%	1	71,5	71,50	0,1	0,45/1,99	7,15	14,23	5112,25						
	4	35,2	140,80	0,1	0,45/1,99	14,08	24,36	4956,16						
<b>Итого по ПР6</b>	6		222,3	0,1		21,83	39,78	10168,41	4	2,28	49,77	43,76	66,27	100,69
<b>ПР7</b>														
Кран-балки, ПВ=25%	2	10	20	0,06	0,45/1,99	1,2	2,39	200						
Тельфер	1	20	20	0,2	0,55/1,52	4	6,08	400						
<b>Итого по ПР7</b>	3		40	0,13		5,2	8,47	600	2	4,23	21,99	9,32	23,88	36,28
<b>РУ НН ТП</b>														
Электropечи для сушки обмоток	4	168	672	0,8	0,95/0,33	537,6	177,41	112896			537,6	177,41		
Кран-балки, ПВ=50%	2	142	284	0,1	0,45/1,99	28,4	56,52	40328			28,4	56,52		
	1	187	187	0,1	0,45/1,99	18,7	37,21	34969			18,7	37,21		
<b>Итого по отдельной группе от РУ НН ТП</b>	7		1143	0,51		584,7	271,14	188193			543,77	298,25	620,32	942,48
<b>Итого силовая нагрузка ТП:</b>	62	3-187	2409,30	0,45		1086,58	855,26		22	0,85	923,59	855,26	1258,76	1912,49

### 2.3. Определение расчетной нагрузки предприятия в целом.

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

$$P_p = K_c \cdot P_n ;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi ,$$

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

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

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

Таблица 2.3.1 - Ведомость электрических нагрузок по цехам

№ п/п	Наименование цеха	Категории	$P_n$ , кВт	$K_c$	$\cos \phi$
0,38 кВ					
1	Инженерный центр	III	675	0,40	0,80
2	Трансформаторный	II	2409,30	-	-
3	Крупных машин	II	5834	0,5	0,8
4	Гидрокорпус	II	4918	0,6	0,7
5	Преобразовательной техники	III	480	0,35	0,65
6	Высоковольтных аппаратов	II	2103	0,45	0,8
7	Сборки компонентов	II	1510	0,8	0,8
8	Служба эксплуатации и ремонта	III	556	0,3	0,75
9	Служебно-бытовые помещения	III	410	0,4	0,7
10	Очистные сооружения	III	255	0,6	0,75
11	Ремонтно-механический	III	650	0,5	0,9
12	Инструментальный	III	350	0,35	0,7
13	Компрессорная	II	250	0,8	0,8
14	Лаборатория	III	350	0,45	0,75
15	Склад	III	150	0,35	0,80
6 - 10 кВ					
2	Трансформаторный	II	7500	0,5	0,65
3	Крупных машин	II	7000	0,5	0,75
4	Гидрокорпус	II	6900	0,6	0,7
6	Высоковольтных аппаратов	II	4000	0,4	0,75
13	Компрессорная	II	1250	0,8	0,8

### Пример расчета:

Произведем расчет для Инженерного цеха:

$$P_p = K_C \cdot P_H = 0,4 \cdot 675 = 270 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 270 \cdot 0,75 = 202,5 \text{ кВар}.$$

Площадь инженерного цеха равна  $1296 \text{ м}^2$ , в качестве освещения будут использоваться лампы типа LED, удельное освещение от ламп равно:

$P_{\text{уд.о.}} = 3,6 \text{ Вт/м}^2$ , найдем номинальную мощность осветительной нагрузки

$$P_{\text{н.о.}} = F \cdot P_{\text{уд.о.}} = \frac{1296 \cdot 3,6}{1000} = 4,67 \text{ кВт}.$$

Коэффициент спроса для инженерного цеха равен  $K_{\text{с.о.}} = 0,9$

Тогда расчетная мощность осветительной нагрузки будет найдена по формуле:

$$P_{\text{р.о.}} = K_{\text{с.о.}} \cdot P_{\text{н.о.}} = 4,67 \cdot 0,9 = 4,20 \text{ кВт}.$$

Полная расчетная нагрузка цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{р.о.}})^2 + (Q_p)^2} = 340,87 \text{ кВА}.$$

Результаты расчета сводим в таблицу 2.3.2.

Таблица 2.3.2 - Расчетные нагрузки по цехам завода

№ на генплане	Наименование цеха	Силовая						Осветительная					Силовая + осветительная		
		P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	Cosφ	tgφ	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар	F <sub>ц</sub> , м <sup>2</sup>	P <sub>уд.о</sub> , кВт/м <sup>2</sup>	P <sub>но</sub> , кВт	K <sub>со</sub>	P <sub>ро</sub> , кВт	P <sub>p</sub> +P <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар	S <sub>p</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	17	18
Потребители электроэнергии 0,38 кВ															
1	Инженерный центр	675	0,40	0,80	0,75	270	202,5	1296	3,6	4,67	0,9	4,20	274,20	202,5	340,87
2	Трансформаторный	2409,30	-	-	-	923,59	855,26	5280	3,25	17,16	0,95	16,3	939,81	871,56	1281,74
3	Крупных машин	5834	0,5	0,8	0,75	2917	2787,75	4600	4,25	19,55	0,95	18,57	2935,57	2787,75	4048,35
4	Гидрокорпус	4918	0,6	0,7	1,02	2950,8	3009,82	6600	4,25	28,05	0,95	26,65	2977,45	3009,82	4233,70
5	Преобразовательной техники	480	0,35	0,65	1,17	168	196,56	1836	4,25	7,8	0,85	6,63	174,63	196,56	262,93
6	Высоковольтных аппаратов	2103	0,45	0,8	0,75	946,35	709,76	3360	4,25	14,28	0,95	13,57	959,92	709,76	1193,82
7	Сборки компонентов	1510	0,8	0,8	0,75	1208	906	3920	3,25	12,74	0,95	12,1	1220,1	906	1519,69
8	Служба эксплуатации и ремонта	556	0,3	0,75	0,88	166,8	146,78	3920	3,75	14,7	0,85	12,5	179,3	146,78	231,72
9	Служебно-бытовые помещения	410	0,4	0,7	1,02	164	167,28	2112	4,25	8,98	0,9	8,08	172,08	167,28	239,98
10	Очистные сооружения	255	0,6	0,75	0,88	153	134,64	984	4,25	4,18	0,95	3,97	156,97	134,64	206,80
11	Ремонтно-механический	650	0,5	0,9	0,48	325	156	1836	3,75	6,89	0,85	5,86	330,86	156	365,79
12	Инструментальный	350	0,35	0,7	1,02	122,5	124,95	1836	3,75	6,89	0,85	5,86	128,36	124,95	179,13
13	Компрессорная	250	0,8	0,8	0,75	200	150	984	4,25	4,18	0,95	3,97	203,97	150	253,19
14	Лаборатория	350	0,45	0,75	0,88	157,5	138,6	984	4,8	4,72	0,8	3,78	161,28	138,6	212,65
15	Склад	150	0,35	0,80	0,75	52,5	39,38	984	4,25	4,18	0,6	2,51	55,01	39,38	67,65
	Освещение территории							166288	0,016	2661	1,00	2661			
	<b>Итого по 0,38 кВ:</b>	20845,3	-	-	-	10690,49	9711,67	206820	-		-	2806	10896,12	9741,58	14615,85
Потребители электроэнергии 6-10 кВ															
2	Трансформаторный	7500	0,5	0,65	1,17	3750	4387,50						3750	4387,50	5771,71
3	Крупных машин	7000	0,5	0,75	0,88	3500	3080						3500	3080	4662,23
4	Гидрокорпус	6900	0,6	0,7	1,02	4140	4222,8						4140	4222,8	5913,68

Продолжение таблицы 2.3.2.

6	Высоковольтных аппаратов	4000	0,4	0,75	0,88	1600	1408						1600	1408	2131,31
13	Компрессорная	1250	0,8	0,8	0,75	1000	750						1000	750	1250
	<b>Итого по 6-10 кВ:</b>	26650				13990	13848,3						13990	13848,3	19684,91
	<b>Итого по заводу:</b>	47495,3				24680,49	23559,97						24886,12	23589,88	34300,76

## 2.4. Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций.

Удельная плотность нагрузки для заданного предприятия:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}} = \frac{14615,85}{40532} = 0,36 \text{ кВА} / \text{м}^2,$$

где  $S_p$  - суммарная мощность предприятия,  $F_{ц}$  - суммарная площадь цехов.

Для данной плотности нагрузки рекомендуется использовать трансформаторы мощностью 2500 кВА.

Минимальное число трансформаторов цеховых ТП определяется по формуле:

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

Минимальное число цеховых трансформаторов равно:

$$N_{\min} = \frac{10869,60}{0,7 \cdot 2500} = 6,21.$$

Принимаем  $N_{\min} = 7$ .

Проведем расчет для определения минимального числа трансформаторов для цехов. Полученные значения представим в виде таблице 2.5.1.

Таблица 2.4.1 – Минимальное число цеховых трансформаторов

№ п/п	Наименование цеха	$P_p + P_{p.o}, \text{кВт}$	$N_i$ тр-ров	N тр-ров
1	2	3	4	5
1	Инженерный центр	274,20	0,181	
2	Трансформаторный	939,81	0,621	1
3	Крупных машин	2935,57	1,94	2
4	Гидрокорпус	2977,45	1,97	2
5	Преобразовательной техники	174,63	0,12	
6	Высоковольтных аппаратов	959,92	0,63	1
7	Сборки компонентов	1220,1	0,81	1

Продолжение таблицы 2.4.1.

8	Служба эксплуатации и ремонта	179,3	0,12	
9	Служебно-бытовые помещения	172,08	0,11	
10	Очистные сооружения	156,97	0,10	
11	Ремонтно-механический	330,86	0,22	
12	Инструментальный	128,36	0,08	
13	Компрессорная	203,97	0,13	
14	Лаборатория	161,28	0,11	
15	Склад	55,01	0,04	

Как видно из таблицы 2.4.1 для покрытия мощностей завода в целом, применение трансформаторов мощностью 2500 кВА будет не рациональным. Так как полученные расчеты показали, что все трансформаторы необходимо установить во 2, 3, 4, 6 и 7 цехах, с возможностью присоединения к ним нагрузок остальных цехов. Это связано с тем, что основная нагрузка приходится именно на эти цеха. Однако, это увеличит протяженность низковольтной питающей сети, ввиду того, что расстояние вспомогательных цехов довольно большое. Это приведет к увеличению потерь мощности в низковольтной линии, затрат на обслуживание линий [10].

Для покрытия нагрузок всех цехов, а также для лучшего распределения энергии и сокращения количества низковольтных линий дополнительно рассмотрим вариант, при котором некоторое количество трансформаторов номинальной мощностью 2500 заменены на трансформаторы с меньшим номиналом, но в большем количестве.

Предварительно выбираем трансформаторы 2500 и 1000 кВА.

При этом, придерживаясь требуемого коэффициента загрузки: для потребителей II-категории  $\beta = 0,7 - 0,8$ .

Минимальное число трансформаторов цеховых ТП определяется по формуле:

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

$$N_{S_{н.мп}=2500}^{\min} = \frac{6418,51}{0,7 \cdot 2500} = 3,67;$$

$$\Delta N = N - N_{\min} = 4 - 3,67 = 0,33;$$

$$m = 0;$$

$$N_{онт\ 1000} = N_{\min} + m = 4 + 0 = 4 \text{ шт.}$$

$$N_{S_{н.мп}=1000}^{\min} = \frac{4451}{0,7 \cdot 1000} = 6,36;$$

$$\Delta N = N - N_{\min} = 7 - 6,36 = 0,64;$$

$$m = 0;$$

$$N_{онт\ 1000} = N_{\min} + m = 7 + 0 = 7 \text{ шт.}$$

Расчеты производим в табличной форме, результаты сводим в таблицу 2.4.2.

Таблица 2.4.2 - Число трансформаторов в цехе

№ п/п	Наименование цеха	P <sub>p</sub> +P <sub>p.o</sub> ,кВт	N гр-ров
1	2	3	4
1	Инженерный центр	274,20	0,43
2	Трансформаторный	939,81	1,48
3	Крупных машин	2935,57	1,83
4	Гидрокорпус	2977,45	1,86
5	Преобразовательной техники	174,63	0,12
6	Высоковольтных аппаратов	959,92	1,51
7	Сборки компонентов	1220,1	1,92
8	Служба эксплуатации и ремонта	179,3	0,28
9	Служебно-бытовые помещения	172,08	0,27
10	Очистные сооружения	156,97	0,25
11	Ремонтно-механический	330,86	0,21
12	Инструментальный	128,36	0,20
13	Компрессорная	203,97	0,32
14	Лаборатория	161,28	0,25
15	Склад	55,01	0,12

Нагрузки близлежащих цехов объединяем. Подстанции устанавливаем одно- и двухтрансформаторные в зависимости от необходимой категории

надежности электроснабжения.

На плане предприятия обозначаем места расположения цеховых ТП.

Трансформаторы цеховых ТП запитаны по радиальной схеме.

Трансформаторы одно- и двухтрансформаторных подстанций запитаны от разных секций РУ 10 кВ ГПП.

Электрические нагрузки распределяем по пунктам питания. Данные сводим в таблицу 2.4.3.

Таблица 2.4.3 - Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

№ п/п	Наименование п/п	Потребители	Место расположения п/п на генплане	Кол-во и мощность тр-ров	$\beta$
1	ТП-1	Цех 6, 9, 12	Цех 6	2x1000 кВА	0,68
2	ТП-2	Цех 4, 5	Цех 4	2x2500 кВА	0,65
3	ТП-3	Цех 3, 11	Цех 3	2x2500 кВА	0,67
4	ТП-4	Цех 1,2	Цех 2	2x1000 кВА	0,69
5	ТП-5	Цех 7,8	Цех 7	2x1000 кВА	0,71
6	ТП-6	Цех 10,13,14,15	Цех 13	1x1000 кВА	0,67

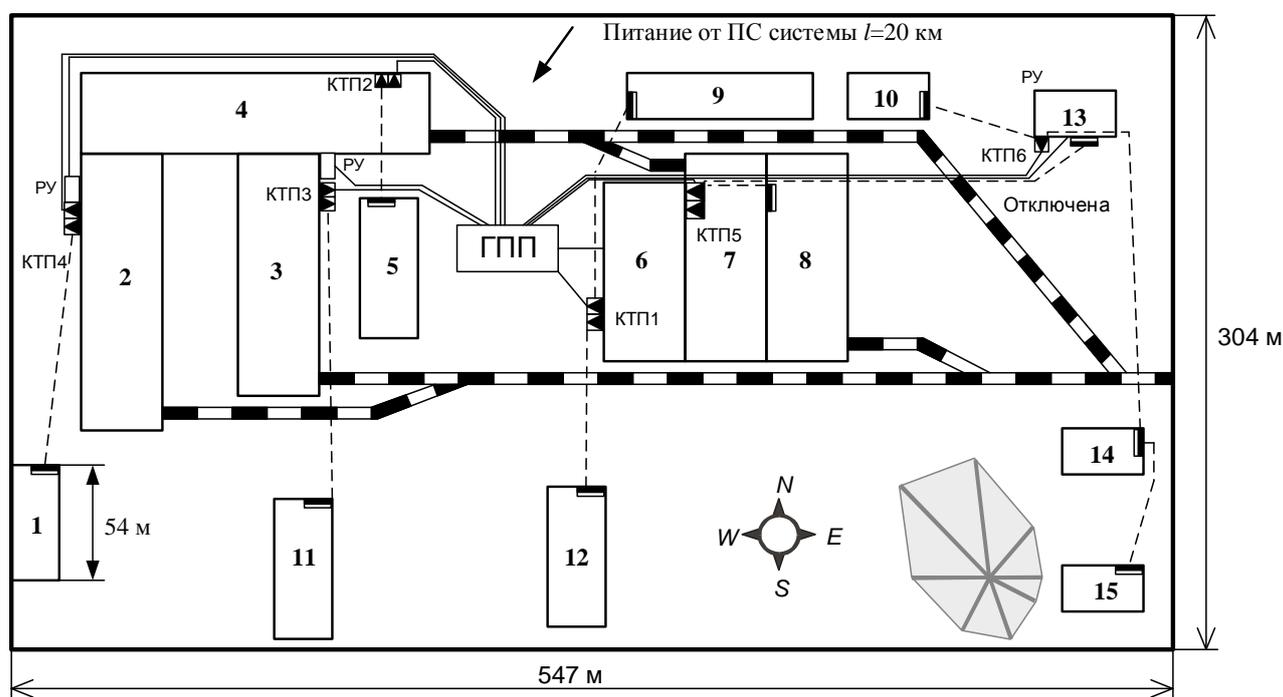


Рисунок 2.4.1 - Схема расположения ГПП и цеховых ТП

Окончательный выбор числа и мощности трансформаторов сделаем после

расчета КРМ в сети 0,4 кВ.

## 2.5. Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия.

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

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

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{20} + \frac{2500}{24,105}}} = 88,14 \text{ кВ}.$$

где  $L$  – расстояние от источника питания, км;

$P$  – передаваемая мощность, равная расчетной нагрузке предприятия, МВт.

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

## 2.6. Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых трансформаторных подстанций и уточнение их нагрузки.

Суммарная расчетная мощность батарей ниже 1 кВ:

$$\Delta Q_{БК,Н} = Q_{БК,Н1} + Q_{БК,Н2},$$

где  $Q_{БК,Н1}$  и  $Q_{БК,Н2}$  - суммарные мощности батарей.

Определяем наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ:

$$\Delta Q_{\max,тр} = \sqrt{(N_{тр,опт} \cdot \beta_{тр} \cdot S_{ном,тр})^2 - P_{расч,н}^2};$$
$$\Delta Q_{\max,тр}^{2500} = \sqrt{(4 \cdot 0,7 \cdot 2500)^2 - 6418,51^2} = 2793,34 \text{ кВар};$$
$$\Delta Q_{\max,тр}^{1000} = \sqrt{(7 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 4451^2} = 2049,05 \text{ кВар}.$$

Мощность конденсаторных батарей ниже 1 кВ находятся по формуле:

$$\Delta Q_{БК,Н1} = Q_{расч.н} - Q_{max.тр}^{2500};$$

$$\Delta Q_{БК,Н1}^{2500} = 6150,13 - 2793,34 = 3356,79 \text{ кВар};$$

$$\Delta Q_{БК,Н1}^{1000} = 2517,39 - 2049,05 = 468,34 \text{ кВар}.$$

Дополнительная суммарная мощность БК для данной группы трансформаторов:

$$\Delta Q_{БК,Н2}^{2500} = Q_{расч.н} - Q_{БК,Н1} - \gamma^{2500} \cdot N_{тр.онт}^{2500} \cdot S_{ном.тр};$$

$$\Delta Q_{БК,Н2}^{1000} = Q_{расч.н} - Q_{БК,Н1} - \gamma^{1000} \cdot N_{тр.онт}^{1000} \cdot S_{ном.тр}.$$

Где  $\gamma$  - расчетный коэффициент, определяется в зависимости от показателей  $Kp_1$  и  $Kp_2$ .  $Kp_1 = 15$ ,  $Kp_2^{2500} = 5$ ,  $Kp_2^{1000} = 2$ .

$$\gamma^{2500} = 0,49, \gamma^{1000} = 0,6.$$

$$\Delta Q_{БК,Н2}^{2500} = 6150,13 - 3356,79 - 0,49 \cdot 4 \cdot 2500 = -2106,66 \text{ кВар};$$

$$\Delta Q_{БК,Н2}^{1000} = 2517,39 - 468,34 - 0,6 \cdot 7 \cdot 1000 = -2150,95 \text{ кВар}.$$

$$\Delta Q_{БК,Н}^{2500} = 3356,79 \text{ кВар};$$

$$\Delta Q_{БК,Н}^{1000} = 468,34 \text{ кВар}.$$

Полученные результаты расчетов занесем в таблицу 2.7.1.

Таблица 2.6.1 - Расстановка конденсаторных батарей в сети 0,4 кВ

№ цеховой ТП	$\sum P_P + P_{P.O.}$ , кВт	$\sum Q_P$ , кВар	% соотношение	$Q_{БК}$ , кВар	Тип КБ	$Q_{БК.Ф}$ , кВар
2500 кВА						
2	3152,08	3206,38	0,52	1750,07	3* УKM-0,4-600-50 У3*	1800
3	3266,43	2943,75	0,48	1606,72	2* УKM-0,4-600-50 У3 1* УKM-0,4-450-25 У3	1650
Итого:	6418,51	6150,13	1	3356,79		3450
1000 кВА						
1	1260,36	1001,99	0,28	130,66	УKM-0,4-150-25 У3	150
4	1214,01	1074,06	0,30	140,06	УKM-0,4-150-25 У3	150
5	1399,4	1052,78	0,29	137,29	УKM-0,4-150-25 У3	150
6	577,23	462,62	0,13	60,33	УKM-0,4-62,5-12,5	62,50

					УЗ	
Итого:	4451	3591,45	1	468,34		512,50

Пересчитаем значения полной мощности на ТП с учетом компенсации реактивной мощности. По значению полной расчетной мощности проводим пересчет коэффициента загрузки трансформаторов на ТП.

Полученные значения сводим в таблицу 2.6.2.

Таблица 2.6.2 – Значения  $\beta_{тр}$  цеховых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности

№ цеховой ТП	$N_{mp}$ , шт	$\sum Q_P - Q_{БК.Ф}$ , кВар	$S_P$ , кВА	$\beta_{тр}$
1	2	851,99	1521,31	0,76
2	2	1406,38	3451,60	0,69
3	2	1293,75	3513,31	0,70
4	2	924,06	1223,24	0,61
5	2	902,78	1407,42	0,70
6	1	400,12	702,35	0,70

Выбираем трансформаторы марки ТМЗ с номинальной мощностью 2500 кВА и 1000 кВА. Параметры выбранных цеховых трансформаторов ТП сводим в таблицу 2.6.3.

Таблица 2.6.3- Параметры трансформаторов цеховых ТП

Тип трансформатора	$S_{ном}$ , кВА	Уном обмоток, кВ		$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$I_{xx}$ , %	$U_{кз}$ , %	Схема и группа соединения обмоток
		ВН	НН					
ТМЗ-2500/6-10	2500	6	0,4	3,85	23,5	1,0	6,5	$\Delta - Y_H - 11$
ТМЗ-1000/6-10	1000	6	0,4	1,9	12,2	1,7	5,5	$\Delta - Y_H - 11$

## 2.7. Расчет потерь мощности в цеховых трансформаторах.

Определяем потери в трансформаторах:

$$\Delta P_{mp} = \Delta P_{xx,mp} \cdot n + \Delta P_{кз,mp} \cdot n \cdot \beta_m^2,$$

$$\Delta Q_{mp} = \frac{n \cdot S_{n,mp}}{100} \cdot (I_{xx} + \beta_m^2 \cdot U_{кз}).$$

Пример расчета потерь для ТП1:

$$\Delta P_{mp} = 1,9 \cdot 2 + 12,2 \cdot 2 \cdot 0,69^2 = 15,42 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{mp} = \frac{1000 \cdot 2}{100} \cdot (1 + 0,69^2 \cdot 5,5) = 72,37 \text{ кВар}.$$

Для остальных ТП расчет ведется аналогично.

Сводим результаты в таблицу 2.7.1.

Таблица 2.7.1 – Потери в цеховых ТП

Гр-р	$S_{ном т}$ , кВА	Кол-во	$\Delta P$ , кВт	$\Delta Q$ , кВар	$\Delta S$ , кВА
ТП1	1000	2	17,92	97,65	99,28
ТП2	2500	2	30,10	204,88	207,07
ТП3	2500	2	30,91	210,46	212,72
ТП4	1000	2	12,93	75,15	76,25
ТП5	1000	2	15,88	88,47	89,89
ТП6	1000	1	7,92	44,13	44,84
Итого:		11	115,65	720,74	730,05

## 2.8. Определение мощности батарей конденсаторов в сетях выше 1 кВ.

Высоковольтная нагрузка представлена синхронными и асинхронными двигателями. Данные на двигатели представлены в таблице 2.8.1.

Таблица 2.8.1 - Сведения о высоковольтной нагрузке завода

Наименование цеха	Тип двигателя	n	$I_c$ , А	$P_{ном}$ , кВт	$Q_{ном}$ , кВар	$\eta$ , %	$\cos\varphi$	$\beta$	$x_d''$
Трансформаторный	АТД4	1	279	2500	1280,79	97	0,89	1	0,2
	СДН-15-49-12	1	112	1000	511	94,89	0,9	0,7	0,2
	СДН-16-64-12	2	221	2000	1020	95,95	0,9	0,7	0,2
Крупных машин	СДН-15-49-12	1	112	1000	511	94,89	0,9	0,7	0,2
	СДН-16-64-12	3	221	2000	1020	95,95	0,9	0,7	0,2
Гидрокорпус	СДН-16-64-12	2	221	2000	1020	95,95	0,9	0,7	0,2
	АТД4	1	279	2500	1280,79	97	0,89	1	0,2
	А4	1	45	400	204,93	94,2	0,87	0,9	0,2
Высоковольтных аппаратов	АТД4	1	444	4000	2049,26	97,3	0,89	0,9	0,175
Компрессорная	АТД4	1	140	1250	640,39	96,4	0,89	0,9	0,182

$$\sum Q_{СДрасп} = \sum Q_{СДном}^{2000} + \sum Q_{СДном}^{1000} = 7 \cdot 1020 + 2 \cdot 511 = 8162 \text{ кВар};$$

$$\sum Q_{AD} = \sum Q_{ATD4ном} + \sum Q_{A4ном} = 10250 + 400 = 10650 \text{ кВар};$$

$$Q_{ADкомп} = \sum Q_{AD} - \sum Q_{СДрасч} = 10650 - 8162 = 2488 \text{ кВар}.$$

Как видно из расчетов, реактивная мощность, вырабатываемая СД, полностью потребляется АД. При этом необходимо обеспечить надежную компенсацию реактивной мощности в сети выше 1000В.

Проведем необходимые мероприятия по компенсации реактивной мощности.

Не скомпенсированная нагрузка сети до 1 кВ, питаемой через трансформаторы цехов:

$$Q_{тр.неск} = \sum Q_{тр.мах} - \sum Q_{БК,Н} + \sum \Delta Q_{тр},$$

где  $\sum \Delta Q_{тр}$  - суммарные реактивные потери в трансформаторе при его загрузке с учетом компенсации.

Из [3, табл. 5.4] выбираем значения для данных трансформаторов, в результате получим:

$$\sum \Delta Q_{тр} = 2 \cdot 46 + 2 \cdot 99 + 2 \cdot 99 + 2 \cdot 34 + 2 \cdot 41 + 1 \cdot 41 = 679 \text{ кВар};$$

$$\sum Q_{тр.мах} = Q_{тр.мах}^{2500} + Q_{тр.мах}^{1000} = 2793,34 + 2049,05 = 4842,39 \text{ кВар};$$

$$\sum Q_{БК,Н} = Q_{БК,Н}^{2500} + Q_{БК,Н}^{1000} = 3450 + 512,50 = 3962,50 \text{ кВар};$$

$$Q_{тр.неск} = 4842,39 - 3962,50 + 679 = 1558,90 \text{ кВар}.$$

Расчетная реактивная нагрузка в сетях 6 кВ промышленных предприятий:

$$Q_{вн.расч} = Q_{расч.вн} + Q_{тр.неск};$$

$$Q_{вн.расч} = 13848,30 + 1558,90 = 15407,20 \text{ кВар}.$$

Суммарная расчетная реактивная мощность БК 6 кВ для всего предприятия определяется из условия баланса реактивной мощности:

$$Q_{БК.ВН} = Q_{вн.расч} + Q_{ADкомп} - Q_c;$$

где  $Q_c$  - реактивная мощность, передаваемая из сети энергосистемы в сеть предприятия:

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma};$$

где  $\alpha = 0,29$  для величины напряжения питающей линии 110 кВ.

$$Q_c = 0,29 \cdot 24886,12 = 7216,98 \text{ кВар};$$

$Q_{СДрасч}$  - располагаемая реактивная мощность синхронных двигателей.

Тогда суммарная расчетная реактивная мощность БК 6 кВ для всего предприятия:

$$Q_{БК.ВН} = 15407,20 + 2488 - 7216,98 = 10678,22 \text{ кВар}.$$

Принимаем по [5] к установке регулируемые 3 конденсаторные установки типа УКЛ(П)56-6,3(10,5)-3150 У1 и 1х УКЛ(П)56-6,3(10,5)-1350 У3 с номинальной мощностью 3150 и 1350 кВар соответственно.

Определим полную расчетную мощность на стороне ВН цеховой ТП:

$$S_P^H = \sqrt{(P_P^H + \Delta P_T)^2 + (Q_P^H - Q_{КБ}^H + \Delta Q_T)^2};$$

$$S_P^H = \sqrt{(10896,12 + 115,65)^2 + (9741,58 - 3962,50 + 720,74)^2} = 12786,97 \text{ кВА}.$$

Суммарная расчётная активная мощность ГПП:

$$P_{P.ГПП}^{ВН} = P_{P.ГПП}^{НН} + \Delta P_T^{ГПП};$$

$$P_{P.ГПП}^{НН} = (\sum P_P^{НН} + \sum P_P^{ВН}) \cdot K_{P.M} + \sum \Delta P_T + \sum \Delta P_{Л} + P_{P.O.};$$

$$\sum \Delta P_{Л} = 0,03 \cdot S_P^H;$$

$$\sum \Delta P_{Л} = 0,03 \cdot 12786,97 = 383,61 \text{ кВт};$$

$$P_{P.ГПП}^{НН} = (10690,49 + 13990) \cdot 0,95 + 115,65 + 383,61 + 144,82 = 24090,55 \text{ кВт};$$

$$Q_{P.ГПП}^{НН} = (\sum Q_P^{НН} - \sum Q_{БК}^{НН} + \sum Q_P^{ВН}) \cdot K_{P.M} + \sum \Delta Q_T;$$

$$Q_{P.ГПП}^{НН} = (9741,58 - 3962,50 + 13848,3) \cdot 0,95 + 720,74 = 19366,75 \text{ кВар};$$

$$S_{P.ГПП}^{НН} = \sqrt{(P_{P.ГПП}^{НН})^2 + (Q_{P.ГПП}^{НН})^2};$$

$$S_{P.ГПП}^{НН} = \sqrt{24090,55^2 + 19366,75^2} = 30909,96 \text{ кВА};$$

Потери мощности в трансформаторах ГПП определяются:

$$\Delta P_{Тр.ГПП} = 0,02 \cdot S_{P\Sigma} = 0,02 \cdot 30909,96 = 618,20 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{Тр.ГПП} = 0,1 \cdot S_{P\Sigma} = 0,1 \cdot 30909,96 = 3091 \text{ кВар}.$$

где  $\Delta P_{тр.ГПП}$  - потери активной энергии в трансформаторах ГПП, кВт;

$\Delta Q_{тр.ГПП}$  - потери реактивной энергии в трансформаторах ГПП, кВАр;

Полная расчётная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП определяется:

$$S_{р.ГПП} = \sqrt{(P_{р\Sigma} + \Delta P_{тр.ГПП})^2 + (Q_{р\Sigma} + \Delta Q_{тр.ГПП} - Q_{БК}^B)^2},$$

где  $Q_{БК}^B$  – мощность компенсирующих устройств на шинах 6 кВ, кВАр.

$$S_{р.ГПП} = \sqrt{(24090,55 + 618,20)^2 + (19366,75 + 3091 - 10800)^2} = 27320,80 \text{ кВА}.$$

## 2.9. Выбор мощности трансформаторов ГПП.

Мощность трансформаторов ГПП определяется активной нагрузкой и реактивной мощностью, передаваемой от энергосистемы.

Мощность трансформаторов на ГПП определяется по формуле

$$S_{НОМ.ТР} = \frac{S_{р.ГПП}}{2 \cdot \beta_T},$$

где  $S_{р.ГПП}$  – полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП;  $\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП; 2 – число трансформаторов на ГПП.

Рассчитаем мощность трансформаторов ГПП:

$$S_{НОМ.ТР} = \frac{27320,80}{2 \cdot 0,7} = 19514,85 \text{ кВА}.$$

Принимаем трансформаторы ТДН-25000/110 мощностью 25 МВА.

Проверим на обеспечение требуемой мощности предприятия с учетом возможной допустимой перегрузки трансформатора:

$$S_{р.ГПП} < 1,4 \cdot S_{НОМ.ТР};$$

$$27320,80 \text{ кВА} < 35000 \text{ кВА}.$$

Условие проверки выполняется.

Таблица 2.9.1- Каталожные данные трансформатора ТДН-25000/110

Трансформатор, МВА	Потери, кВт		Ток холостого хода, $I_{xx}\%$	Напряжение к.з., $U_{кз}\%$
	$\Delta P_{xx}$ , кВт	$P_{кз}$ , кВт		
25	34	170	0,55	10,5

Для РУВН ГПП принимаем упрощенную схему 110-4Н, так как количество присоединяемых линий всего 4.

Для РУ НН ГПП выбираем схему с одной секционированной выключателем систему шин, так как количество присоединений 5 и более (рисунок 2.10.1).

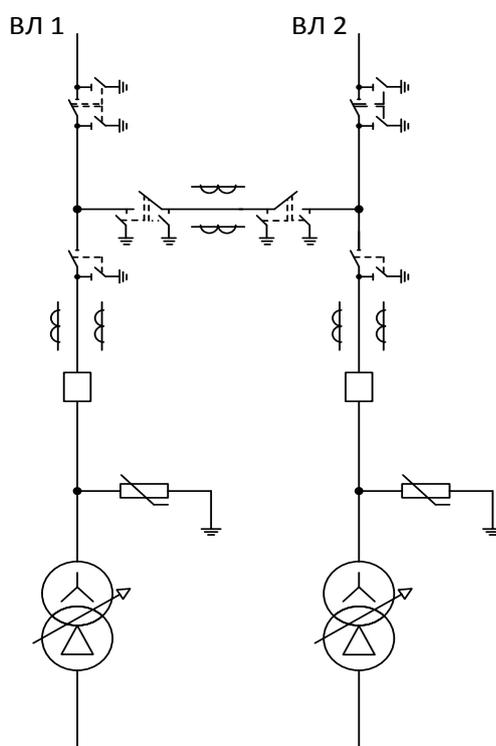


Рисунок 2.9.1 - Схема № 110-4Н. Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линии

## 2.10. Выбор сечения линии, питающей ГПП.

Экономические показатели питающих линий в значительной мере зависят от правильности выбора сечений проводов.

Линии, питающие трансформаторы ГПП, выполняются воздушными двухцепными проводами марки АС. Выбор сечения проводов производится по экономической плотности тока. Суммарное сечение  $F$  проводов фазы проектируемой ВЛ находится:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_H},$$

где  $I_p$  – расчетный ток, А;

$j_H$  – нормированная плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

Для определения  $j_H$  необходимо знать число часов использования максимума нагрузки  $T_{\text{max}}$ . Для этого необходимо построить годовой график нагрузки по продолжительности. В нашем случае нет возможности для построения графика нагрузки по продолжительности из-за отсутствия полных технических данных. Несмотря на это, воспользуемся характерным суточным графиком электрической нагрузки из [1] для тяжелого машиностроения, и по нему определим значение  $T_{\text{max}}$ .

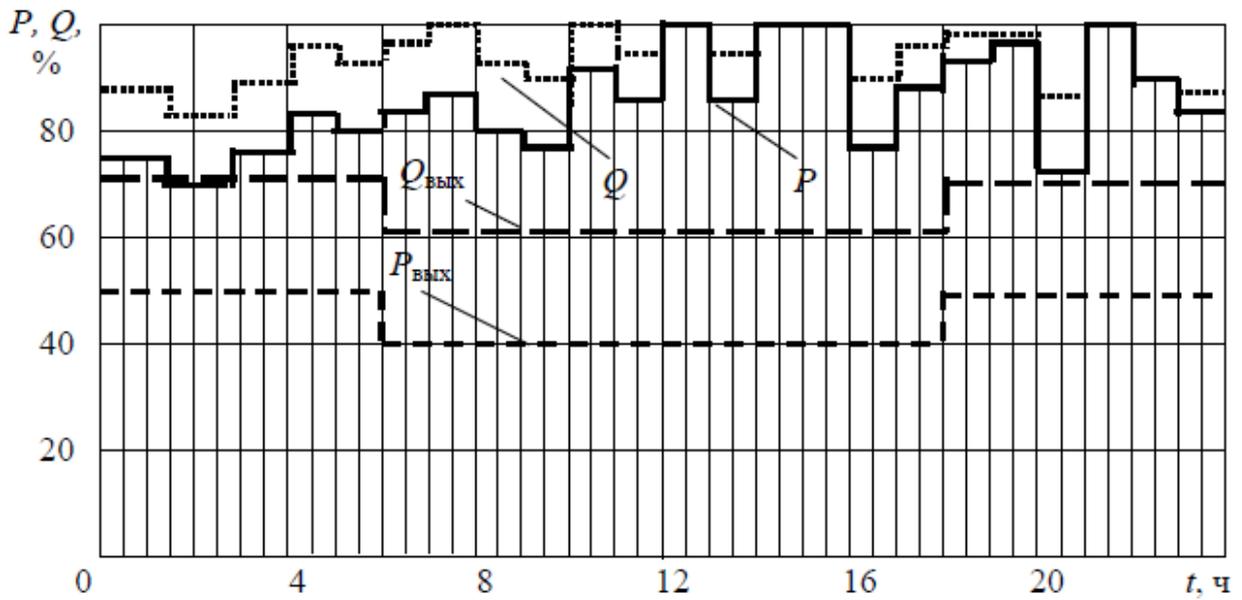


Рисунок 2.10.1 - Суточный график электротехнического завода

По графику электрических нагрузок определим электроэнергию, потребленную заводом. Т.е. найдем площадь под ступенчатой линией  $P$ .

Далее определим активную мощность, потребляемую за сутки, и поделим на значение максимальной активной мощности, потребляемой заводом. Это и будет  $T_{max}$ .

Таблица 2.10.1 - Характеристика потребления электроэнергии в рабочие дни

$t, \text{ч}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	1854	1792	1774	1904	2027	1978	2052	2102	1978	1928	2275	2052
	7,65	9,40	3,92	2,25	8,76	4,16	6,07	0,67	4,16	9,56	1,78	6,07
$t, \text{ч}$	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	2473	2052	2473	2473	1904	2225	2349	2398	1879	2473	2374	2027
	0,20	6,07	0,20	0,20	2,25	7,18	3,69	8,29	4,95	0,20	0,90	8,16

Таблица 2.10.2 - Характеристика потребления электроэнергии в выходные дни

$t, \text{ч}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	1236	1236	1236	1236	1236	1236	9892,08	9892,08	9892,08	9892,08	9892,08	9892,08
	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10
$t, \text{ч}$	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$W, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	9892,08	9892,08	9892,08	9892,08	9892,08	9892,08	1236	1236	1236	1236	1236	1236
	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10

Определим суммарную энергию, потребляемую предприятием:

$$\sum_{i=1}^{24} W_{i,p} = \sum_{i=1}^{24} P_{i,p} \cdot t_i = 508,27 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\sum_{i=1}^{24} P_{i,p} = \frac{\sum_{i=1}^{24} W_{i,p}}{24} = 21178 \text{ кВт};$$

$$\sum_{i=1}^{24} W_{i,\text{вых}} = \sum_{i=1}^{24} P_{i,\text{вых}} \cdot t_{i,\text{вых}} = 267,09 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\sum_{i=1}^{24} P_{i,\text{вых}} = \frac{\sum_{i=1}^{24} W_{i,\text{вых}}}{24} = 11129 \text{ кВт}.$$

Учитывая то, что в 2016 году 247 рабочих дней (5914 часов) и 119 выходных дней (2847 часов) для нашего производства [6].

$$\sum W_{i,p} = \sum P_{i,p} \cdot 5914 = 125247 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\sum W_{i,\text{вых}} = \sum P_{i,\text{вых}} \cdot 2847 = 31684,3 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\sum W_i = \sum W_{i,p} + \sum W_{i,\text{вых}} = 156931,3 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определим время использования максимума нагрузки:

$$T_{\max} = \frac{\sum W_i}{P_{\max}} = \frac{156931,30 \cdot 10^3}{24730,20} = 6345,74 \text{ ч}.$$

$j_n = 1 \text{ А/мм}^2$  – плотность тока для алюминиевых неизолированных проводов для ВЛ при  $T_{\max} > 5000 \text{ ч}$ .

Определим расчетный ток, приходящийся на одну линию:

$$I_p = \frac{S_{p\Gamma\Pi\Pi}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_p = \frac{25000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 65,61 \text{ А}.$$

Определим ток в послеаварийном или ремонтном режиме:

$$I_{n.a.} = \frac{S_{p\Gamma\Pi\Pi}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}};$$

$$I_{н.а.} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 131,22 \text{ А};$$

$$F_{ЭК} = \frac{65,61}{1} = 65,61 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АС 70/11 с  $I_{доп} = 265 \text{ А}$  [7].

Проверка сечения:

1. По условию механической прочности, номинальное сечение для ВЛ напряжением 110 кВ принято принимать равным  $70 \text{ мм}^2$ .

2. По допустимой токовой нагрузке по нагреву и по перегрузочной способности по условиям:

$$I_P \leq I_{доп};$$

$$I_{п.а.} \leq 1,3 \cdot I_{доп};$$

$$65,61 \text{ А} \leq 265 \text{ А} - \text{проходит};$$

$$131,22 \text{ А} \leq 1,3 \cdot 265 \text{ А} - \text{проходит};$$

3. По допустимой потере напряжения: допустимую длину питающей линии определим:

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

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

По [1, таблица П.5.1.]  $l_{\Delta U 1\%} = 5,1 \text{ км}$ .

$\Delta U_{доп\%}$  – допустимая потеря напряжения,  $\Delta U_{доп\%} = 5\%$ ;

$k_3 = \frac{I_{доп}}{I_P}$  – коэффициент загрузки линии;  $l_{доп}$  – допустимая длина линии, км;

$l$  – фактическая длина линии, км.

$$k_3 = \frac{I_{доп}}{I_P} = \frac{265}{65,61} = 4,03;$$

$$l_{доп} = 5,1 \cdot 5 \cdot 4,03 \text{ км} \geq 20 \text{ км};$$

$$l_{доп} = 102,76 \text{ км} \geq 20 \text{ км}.$$

Сечение провода проходит по допустимой потере напряжения.

4. По условиям коронирования проводов. Проверке подлежат линии напряжением  $U_H \geq 110 \text{ кВ}$ .

Согласно [2] минимально допустимые по условиям короны сечения проводов ВЛЭП для  $U_H = 110 \text{ кВ} - \text{АС } 70/11$

Сечение провода проходит по условиям коронирования.

## 2.11. Выбор сечений линий питающей сети цеха

Схема внутриводской распределительной сети 6 кВ приведена в Приложении Б.

Сечения кабельных линий выбираются по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $F$ ,  $\text{мм}^2$ , определяется из выражения:

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

где  $I_p$  – расчетный ток установки, А;

$j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока,  $\text{А/мм}^2$ , принимается по справочным данным.

$j_{\text{эк}} = 1,2 \text{ А/мм}^2$ ,  $T_m > 5000 \text{ ч/год}$  для кабелей с бумажной изоляцией с алюминиевыми жилами.

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учётом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме [3].

1. КЛ от ГПП до ТП-4

Расчетный ток линии:

$$I_p = \frac{\sqrt{(P_p^n + \Delta P_T)^2 + (Q_p^n + \Delta Q_T)^2}}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot 6};$$

$n_{\text{лин}}$  – число питающих линий, в нормальном режиме соответствует  $n_{\text{мп}}$ .

$$I_p = \frac{(1214,01 + 12,93)^2 + (1074,06 + 75,15)^2}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 77,03 \text{ А}.$$

Экономическое сечение:

$$F_{\text{эк}} = \frac{77,03}{1,2} = 64,19 \text{ мм}^2.$$

Ближайшее стандартное значение:  $S = 70 \text{ мм}^2$ ,  $I_{\text{доп}} = 190 \text{ А}$ .

Кабельные линии, питающие цеховые трансформаторы, проверяются по нагреву максимальным расчетным током, который определяется по выражению:

$$I_{p\text{max}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном1}} + n_{\text{тр}} \cdot \Delta S_{\text{тр}}}{n_{\text{тр}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000 + 2 \cdot 76,25}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 155,534 \text{ А},$$

где  $n_{\text{тр}}$  – число трансформаторов, питающихся по кабелю в нормальном режиме;

Выполняем проверку по тепловому нагреву с учетом поправочных коэффициентов на условия прокладки:

$$I_{\text{доп}} \cdot k_1 \cdot k_2 \geq I_{p\text{max}}.$$

Для определения  $k_1$  используется [2, табл. 1.3.3].

Для определения  $k_2$  используется [2, табл. 1.3.12, 1.3.26].

Температура окружающей среды нормальная (при прокладке в траншее +15°C), соответственно  $k_1=1$ .

По условиям прокладки КЛ в траншее проложено 6 кабелей, поправочный коэффициент  $k_2=0,85$ .

$$190 \cdot 1 \cdot 0,85 = 165,30 \text{ А} \geq 155,534 \text{ А} \text{ условие выполняется.}$$

Линия КЛ4 может работать с перегрузкой, соответственно выполняем проверку по длительному нагреву в послеаварийном режиме:

$$K_{\text{пер}} \cdot I_{\text{доп}} \cdot k_1 \cdot k_2 \geq I_{\text{н.ав}} = 2 \cdot I_{\text{расч}};$$

$K_{\text{пер}} = 1,2$  определяем по [2, табл. 1.3.2].

$$1,2 \cdot 190 \cdot 1 \cdot 0,85 = 198,360 \text{ А} \geq 2 \cdot 77,03 = 154,06 \text{ А} - \text{условие выполняется.}$$

После расчета токов КЗ выше 1 кВ (п. 2.13, см. ниже) сечение жил проверяем на термическую стойкость при КЗ. Минимально допустимое сечение проводника по данному условию определяется:

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_{\text{К}}}}{C_{\text{T}}}, \text{ мм}^2$$

где  $C_T$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника. Принимаем для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами  $C_T = 90 \text{ A} \cdot \text{c}^{1/2} / \text{мм}^2$ .  $B_K$  – тепловой импульс тока КЗ,  $\text{A}^2 \cdot \text{c}$ .

$$B_K = I_{\text{п0}}^2 \cdot (\tau + T_a),$$

где  $I_{\text{п0}}$  – начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ;  $\tau$  – расчетное время отключения выключателя.

Для маломасляного выключателя  $\tau = t_{\text{р.з. min}} + t_{\text{с.в. откл}} = 0,43 \text{ с}$ ,

где  $t_{\text{р.з. min}}$  – минимальное время срабатывания первой ступени защиты, принимаемое равным 0,01 с для первой ступени защиты и 0,01 +  $\Delta t$  для последующих ступеней.  $\Delta t = 0,3 - 0,5 \text{ с}$ .

$t_{\text{с.в. откл}} = 0,12 \text{ с}$  – для маломасляного выключателя на 10 кВ ВМП;

$T_a$  – постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ, с определяется как:

$$T_a = \frac{x_\Sigma}{\omega \cdot r_\Sigma},$$

где  $x_\Sigma, r_\Sigma$  – результирующие индуктивное и активное сопротивления схемы относительно точки КЗ;  $\omega$  – угловая частота;  $\omega = 2\pi \cdot f = 314 \text{ рад/с}$ .

Проверка сечения на термическую стойкость при КЗ производится в начале линии. Поэтому для расчета принимаем точку К2.

$T_a = 0,01 \text{ с}$ ; т.к. в РУ 6-10 кВ промышленного предприятия

Определяем тепловой импульс тока:

$$B_K = I_{\text{п0}}^2 \cdot (\tau + T_a) = (13,035 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,43 + 0,01) = 4,397 \cdot 10^7 \text{ A}^2 \cdot \text{c}$$

Минимальное сечение жилы кабеля:

$$F_{\text{min}} = \frac{\sqrt{4,4 \cdot 10^7}}{90} = 69,55 \text{ мм}^2.$$

Из трех найденных сечений (по нормированной плотности тока, нагреву длительным током и термической стойкости) принимается большее.

Исходя из проверок примем сечение равное 70 мм<sup>2</sup>. Принимаем кабель марки ААШв (3x70) с параметрами [7]:

$$r_0 = 0,447 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} ;$$

$$x_0 = 0,08 \frac{\text{Ом}}{\text{км}} .$$

Проверяем сечение линии по потерям напряжения по формуле:

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

где  $l$  – длина линии.

Участок ГПП-ТП1:

$$\Delta U_{\text{кл}} = \frac{1214,01 \cdot 0,447 \cdot 0,330 + 1074,06 \cdot 0,08 \cdot 0,330}{10 \cdot 6^2} = 0,58 \text{ В.}$$

Аналогичным образом проводим расчет для остальных КЛ.

Полученные значения сводим в таблицу 2.11.1.

Таблица 2.11.1 –Выбор КЛ распределительной сети 10 кВ

Номер линии	Участок линии	Кол-во линий	$I_p$ , А	Марка и сечение кабеля	Длина, км
КЛ1	ГПП-ТП1	2	77,263	ААШв (3х50)	0,02
КЛ2	ГПП-ТП2	2	213,76	ААШв (3х240)	0,13
КЛ3	ГПП-ТП3	2	210,03	ААШв (3х240)	0,08
КЛ4	ГПП-ТП4	2	77,03	ААШв (3х70)	0,33
КЛ5	ГПП-ТП5	2	83,31	ААШв (3х95)	0,10
КЛ6	ГПП-ТП6	1	100,54	ААШв (3х50)	0,275
КЛ7	ГПП-РУ1(секция1)	3	260,417	ААШв (3х240)	0,08
КЛ8	ГПП-РУ2(секция1)	2	195,66	ААШв (3х240)	0,33
КЛ9	ГПП-РУ2(секция2)	2	221,3375	ААШв (3х240)	0,33
КЛ10	РУ1(секция1)-СДН	1	222,86	АВВГ (3х120)	0,006
КЛ11	РУ1(секция1)-СДН	1	222,86	АВВГ (3х120)	0,0055
КЛ12	РУ1(секция1)-СДН	1	112,67	АВВГ (3х70)	0,004
КЛ13	РУ1(секция2)-АТД4	1	278,655	АВВГ (3х120)	0,008
КЛ14	РУ1(секция2)-А4	1	46,965	АВВГ (3х16)	0,004
КЛ15	РУ1(секция2)-СДН	1	222,86	АВВГ (3х120)	0,0075
КЛ16	РУ1(секция2)-СДН	1	222,86	АВВГ (3х120)	0,006

КЛ17	РУ2(секция1)-АТД4	1	278,66	АВВГ (3x150)	0,005
КЛ18	РУ2(секция1)-КРМ	1	112,67	АВВГ (3x70)	0,005
КЛ19	РУ2(секция2)-ИГ	1	222,86	АВВГ (3x120)	0,008
КЛ20	РУ2(секция2)-ИГ	1	222,86	АВВГ (3x120)	0,004

## 2.12. Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1 кВ.

Короткие замыкания (КЗ) всех видов в электротехнических установках сопровождаются резким увеличением тока в цепи от источника питания до места КЗ. Поэтому все оборудование в системах электроснабжения проверяется на действие токов КЗ [12].

Расчет токов КЗ необходим для выбора аппаратов защиты и проверки элементов электроустановок на электродинамическую и термическую устойчивость, выбор уставок срабатывания защит и проверки их на чувствительность срабатывания [3].

В качестве базовых величин принимаем базовую мощность  $S_6 = 100$  МВА и базовое напряжение  $U_6$ . Для основной ступени, для которой производится расчет токов КЗ,  $U_6 = U_{cp}$  [10].

Для нашей схемы на расчет токов КЗ в точках К2 и К3 будут оказывать непосредственное влияние синхронные и асинхронные двигатели высоковольтной нагрузки РУ1 и асинхронные двигатели, расположенные в цехе высоковольтных аппаратов и компрессорной. Так как расстояние КЛ до этих двигателей небольшое. Поэтому необходимо определить значение тока подпитки КЗ от АД и СД при расчетах. При этом двигатели, располагаемые в РУ2 не окажут особого влияния, потому что длина КЛ более 300 м. Поэтому их влияние учитывать не будем.

На рисунке 2.12.1 представлена расчетная схема, по которой проведем расчет токов КЗ.

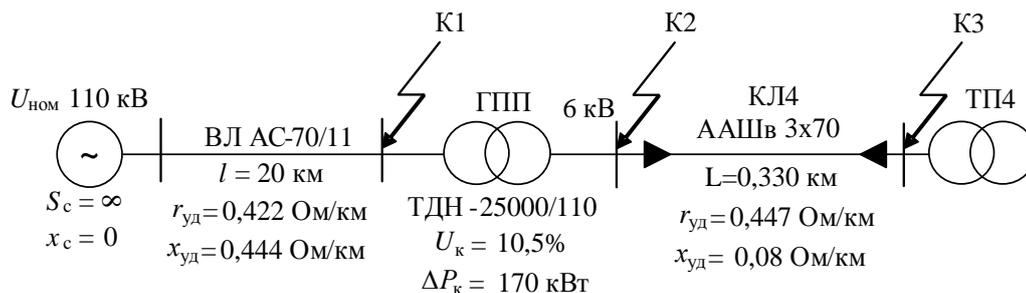


Рисунок 2.12.1 – Схема электрическая расчетная

Принимаем базисную мощность  $S_{\delta} = 100$  МВА и среднее напряжение ступени с точками КЗ  $U_{\delta} = U_{cp} = 115$  кВ;  $U_{\delta 1} = U_{cp1} = 6,3$  кВ.

Определяем базисные токи:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ А};$$

$$I_{\delta 1} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta 1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,164 \text{ А}.$$

Составляем схему замещения.

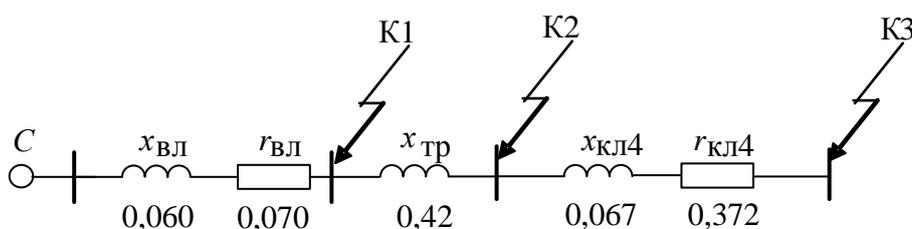


Рисунок 2.12.2 – Схема замещения

Определяем сопротивления элементов схемы замещения в базисных единицах.

Воздушная линия:

$$x_{\text{вЛ}^*} = x_{\text{yд}} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0,4 \cdot 20 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,060 \text{ о.е.};$$

$$r_{\text{вЛ}^*} = r_{\text{yд}} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0,4 \cdot 20 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,070 \text{ о.е.}.$$

Трансформатор ГПП:

$$x_{\text{трГПП}^*} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{н.тр}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,42 \text{ о.е.}$$

Кабельные линии:

$$x_{\text{КЛ4}^*} = x_{\text{yд}} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 1}^2} = 0,4 \cdot 0,330 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,067 \text{ о.е.};$$

$$r_{\text{КЛ4}^*} = r_{\text{yд}} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta 1}^2} = 0,447 \cdot 0,330 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,372 \text{ о.е.}.$$

Суммарное сопротивление до точки К1:

$$Z_{\Sigma 1^*} = \sqrt{x_{\Sigma 1^*}^2 + r_{\Sigma 1^*}^2} = \sqrt{0,060^2 + 0,070^2} = 0,092 \text{ о.е.}$$

Суммарное сопротивление до точки К2:

$$x_{\Sigma 2^*} = x_{\text{вЛ}^*} + x_{\text{трГПП}^*} = 0,060 + 0,42 = 0,48 \text{ о.е.};$$

$$r_{\Sigma 2^*} = r_{\text{вЛ}^*} = 0,070 \text{ о.е.};$$

$$Z_{\Sigma 2^*} = \sqrt{x_{\Sigma 2^*}^2 + r_{\Sigma 2^*}^2} = \sqrt{0,48^2 + 0,070^2} = 0,486 \text{ о.е.}$$

Суммарное сопротивление до точки К3:

$$x_{\Sigma 3^*} = x_{\text{вЛ}^*} + x_{\text{трГПП}^*} + x_{\text{КЛ4}^*} = 0,060 + 0,42 + 0,067 = 0,547 \text{ о.е.};$$

$$r_{\Sigma 3^*} = r_{\text{вЛ}^*} + r_{\text{КЛ4}^*} = 0,070 + 0,372 = 0,442 \text{ о.е.};$$

$$Z_{\Sigma 3^*} = \sqrt{x_{\Sigma 3^*}^2 + r_{\Sigma 3^*}^2} = \sqrt{0,547^2 + 0,442^2} = 0,703 \text{ о.е.}$$

Ток К3 в рассматриваемых точках составит:

$$I_{\text{н0,К1}} = \frac{I_{\delta}}{Z_{\Sigma 1^*}} = \frac{0,502}{0,092} = 5,446 \text{ кА};$$

$$I_{\text{н0,К2}} = \frac{I_{\delta 1}}{Z_{\Sigma 2^*}} = \frac{9,164}{0,486} = 18,876 \text{ кА};$$

$$I_{n0,K3} = \frac{I_{\sigma 1}}{Z_{\Sigma 3^*}} = \frac{9,164}{0,703} = 13,035 \text{ кА}.$$

Определяем ударный ток в точках К1, К2 и К3. Находим ударный коэффициент по кривой, в зависимости от соотношения  $\frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}$ .

Для точки К1:

$$\frac{x_{\Sigma 1^*}}{r_{\Sigma 1^*}} = \frac{0,060}{0,070} = 0,857, k_{y1} = 1,05;$$

$$\frac{x_{\Sigma 2^*}}{r_{\Sigma 2^*}} = \frac{0,48}{0,070} = 6,857, k_{y2} = 1,62;$$

$$\frac{x_{\Sigma 3^*}}{r_{\Sigma 3^*}} = \frac{0,547}{0,442} = 1,24, k_{y3} = 1,08.$$

Ударный ток для соответствующих точек короткого замыкания составит:

$$i_{y1} = k_{y1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n0,K1} = 1,05 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,446 = 8,06 \text{ кА};$$

$$i_{y2} = k_{y2} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n0,K2} = 1,62 \cdot \sqrt{2} \cdot 18,876 = 43,117 \text{ кА};$$

$$i_{y3} = k_{y3} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{n0,K3} = 1,08 \cdot \sqrt{2} \cdot 13,035 = 19,850 \text{ кА}.$$

Рассчитаем значения токов от двигателей, подпитывающих место КЗ.

Расчет ведем в именованных единицах.

Расчет влияния на токи КЗ в точке К2 от АД4-4000.

По [13]  $E'' = 0,9$  - для АД,  $x_{d''} = \frac{1}{I_{*пуск}} = \frac{1}{5,7} = 0,175$ ;

$$x_d'' = x_{d''} \cdot \frac{U_{ном}^2}{P_{ном.об} / E''} = 0,175 \cdot \frac{6,3^2}{4/0,9} = 1,567 \text{ Ом};$$

$$I_{подн} = \frac{U_{ном} \cdot E''}{\sqrt{3} \cdot ((x_d'' + x_{KL9})^2 + r_{KL9}^2)} = \frac{6,3 \cdot 0,9}{\sqrt{3} \cdot ((1,567 + 0,02)^2 + 0,02^2)} = 2,078 \text{ кА}.$$

Номинальный ток двигателя 444 А, ток КЗ в 4,7 раз больше.

Значение ударного коэффициента для АД можно определить как:

$$k_{y\partial} = e^{-\frac{0,01}{T_p}} + e^{-\frac{0,01}{T_a}}, \text{ где для АД марки АД4 } T_a = 0,058 \text{ с, а}$$

$$T_P' = \frac{0,0006}{S_{НОМ}} = \frac{0,0006 \cdot 0,9}{4000} = 1,35 \cdot 10^{-7} \text{ с по [14].}$$

Тогда:

$$k_{y\partial} = e^{-\frac{0,01}{1,35 \cdot 10^{-7}}} + e^{-\frac{0,01}{0,058}} = 0,842.$$

Ударный ток двигателя:

$$i_{y\partial Д} = k_{y\partial Д} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{нодн} = 0,842 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,078 = 2,467 \text{ кА.}$$

Расчеты показывают, что двигатели оказывают существенное влияние на токи КЗ.

Аналогичным образом проведем расчет для третьей точки, а также найдем значения токов подпитки места КЗ от остальных двигателей.

Результаты занесем в таблицу 2.12.1.

Таблица 2.12.1 – Влияние электродвигателей на токи КЗ

Расположение ЭД	$I_{\text{подпК2}}$ , кА	$K_{уд}$	$i_{\text{уподпК2}}$ , кА	$I_{\text{подпК3}}$ , кА	$i_{\text{уподпК3}}$ , кА
Высоковольтных аппаратов	2,078	0,842	2,467	2,073	2,425
РУ1 ( 1 секция)	2,768	1,80	7,045	2,722	6,929
РУ1 ( 2 секция)	1,860	1,55	4,077	1,840	4,032
Компрессорная	0,621	0,842	0,742	0,620	0,741
Итого:	7,331		14,343	7,255	14,170

Подпитка от ЭД не изменяется в точке К2, а в точке КЗ будет изменяться, в зависимости от протяженности КЛ до ТП.

Суммарные токи КЗ с учетом подпитки:

$$I_{n0\Sigma, K2} = I_{n0, K2} + I_{ноднК2} = 18,876 + 7,331 = 26,207.$$

Суммарный ударный ток составит:

$$i_{y\Sigma 2} = i_{y2} + i_{y.нодн} = 43,117 + 14,343 = 57,46 \text{ кА.}$$

По токам короткого замыкания К2 проверяем высоковольтные линии, идущие до ТП цехов.

Сведем расчет токов КЗ по заводу в таблицу 2.12.2.

Таблица 2.12.2 - Расчет токов короткого замыкания

Потребитель	$I_{по,КЗ}, \text{кА}$	$I_{по\Sigma,КЗ}, \text{кА}$	Куд	$i_{y3}, \text{кА}$	$i_{y\Sigma3}, \text{кА}$
ТП-1	18,620	24,913	1,560	41,08	48,46
ТП-2	17,582	17,582	1,440	35,80	35,80
ТП-3	18,078	24,343	1,490	38,09	45,80
ТП-4	13,035	13,035	1,08	19,85	19,85
ТП-5	17,503	23,763	1,370	33,91	44,76
ТП-6	14,936	21,123	1,700	35,90	46,68
РУ-1	18,176	24,463	1,55	39,84	43,05
РУ-2	15,335	15,335	1,240	26,89	26,89
АТД4/4000	18,644	24,995	1,570	41,39	49,13
АТД4/1250	15,492	21,123	1,210	26,50	34,02

Вследствие влияния двигателей на ток КЗ двигателей, принимаем решение установить токоограничительные реакторы для ветвей, питающих РУ1, АТД4-4000 и АТД4-1250.

Определяем токи реакторов:

$$I_{p1} = I_{P.сек1} + I_{P.АД(4000)} = 483,81 + 444,48 = 928,29 \text{ А};$$

$$I_{p2} = I_{P.сек2} + I_{P.АД(1250)} = 538,65 + 140,19 = 678,84 \text{ А};$$

Сопротивления реакторов будем подбирать равным сверхпереходным сопротивлениям двигателей.

$$x_{расчLR} = x_d''.$$

Выбранные по [15] реакторы с их параметрами представим в виде таблицы 2.12.3

Таблица 2.12.3 – Параметры токоограничительных реакторов

Тип реактора	$U_{ном}, \text{кВ}$	$I_{ном}, \text{А}$	$x_p, \text{Ом}$
2хРБСГ 10-2х630-0,25 УЗ	10	2х630	0,25

Потеря напряжения при протекании максимального тока в нормальном режиме:

$$\Delta U_{p\%} = x_p \cdot (1 - k_{св}) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{I_{норм.НН}}{2} \cdot 100 \cdot \sin \varphi}{U_{ном}} = 0,4 \cdot (1 - 0,46) \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 0,464 \cdot 100 \cdot 0,436}{6} =$$

$$= 1,26\% < 1,5 \div 2,5\% ,$$

где  $k_{св} = 0,46$  [15].

Условие выполняется.

Выполним проверку реактора по электродинамической стойкости.

Условие электродинамической стойкости:

$$i_{дин} = 40 \text{ кА} > i_y^{(3)} = 39,84 \text{ кА} .$$

Условие выполняется.

Выполним проверку реактора по термической стойкости. Завод гарантирует время термической стойкости  $t_{тер} = 8 \text{ с}$  и среднеквадратичный ток термической стойкости  $I_{тер} = 15,75 \text{ кА}$ .

Условие термической стойкости:

$$B_k^{зав} = I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 15,75^2 \cdot 8 = 1984,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > B_{к.расч} = I_{но}^2 \cdot (t_{откл.} + T_a) =$$

$$18,176^2 \cdot (1,2 + 0,1) = 429,48 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Условие термической стойкости выполняется.

Соответственно, выбранные реакторы удовлетворяет всем предъявляемым требованиям.

### 2.13. Выбор высоковольтного оборудования.

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

Рабочий ток в данном случае определяется номинальным током трансформатора.

$$I_{н.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 262,43 \text{ А} .$$

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

Расчетные данные	Справочные данные
$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_H = 10 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 262,432 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$
$I_{\text{п.о.}} = 18,760 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 31,5 \text{ кА}$
$i_y = 42,978 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$
$B_k = 49,271 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 80^2 \cdot 4 = 25600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимаем к установке выключатель марки ВПМП-10-630-31,5УЗ.

Выключатель для ТП4.

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

Расчетные данные	Справочные данные
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_H = 6(6,6) \text{ кВ}$
$I_{\max} = 207,12 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$
$I_{\text{п.о.}} = 13,035 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$
$i_y = 19,85 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$
$B_k = 43,97 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимаем к установке выключатель марки ВМПЭ-10-20/630УЗ.

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

Расчетные данные	Справочные данные
$U_H = 6 \text{ кВ}$	$U_H = 6 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 207,12 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$
$i_y = 19,85 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$
$B_k = 43,97 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимаем разъединитель РВФЗ-6/630 П-ПУЗ

Выбор трансформаторов тока.

На отходящих линиях выбираем трансформаторы тока ТПЛ-10КУЗ встраиваемые в КРУ, с литой изоляцией, класс точности 0,5/10Р, с номинальным током 300 А.

Выбираем перечень необходимых измерительных приборов:

Таблица 2.13.1 – Измерительные приборы вторичной цепи ТТ.

№	Приборы	тип	Кол-во	Нагрузка по фазам, В·А		
				А	В	С
1	Амперметр	Э-351	1	0,5	-	-
2	Счетчик активной энергии	И-680	1	2,5	-	2,5
3	Счетчик реактивной энергии	И-673	1	2,5	-	2,5
4	ИТОГО:		3	5,5	-	5

Произведем проверку выбранного трансформатора тока:

Расчетные данные	Справочные данные
$U_n = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{\max} = 207,12 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 300 \text{ А}$
$i_y = 19,85 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$
$W_k = 43,97 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 40 \cdot 3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$Z_p = 0,367 \text{ Ом}$	$Z_{\text{НОМ}2} = 0,4 \text{ Ом}$

Выбираем трансформатор тока типа ТПЛ-10-УЗ. Наиболее нагруженной является фаза А.

Общее сопротивление приборов:

Общее сопротивление приборов рассчитывается по формуле:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{НОМ}}^2}$$

где  $S_{\text{приб}}$  – мощность приборов, ВА

$I_{2\text{НОМ}}$  – вторичный ток трансформатора тока, А.

$$r_{\text{приб}} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом}.$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{пров}} = Z_{\text{НОМ}2} - r_{\text{приб}} - r_k = 0,4 - 0,22 - 0,05 = 0,13 \text{ Ом}.$$

где  $r_k = 0,05 \text{ Ом}$  – сопротивление контактов при числе приборов 3 и менее;

$Z_{\text{НОМ}2} = 0,4 \text{ Ом}$  – полное допустимое сопротивление внешней цепи.

Минимальное сечение проводов:

$$F_{\min} = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров}}} = \frac{0,028 \cdot 8,62}{0,13} = 1,86 \text{ мм}^2.$$

где  $\rho = 0,028 \text{ Ом/мм}^2$  – удельное сопротивление провода;

$l_p = 1,73l = 1,73 \cdot 5 = 8,65 \text{ м}$  – расчетная длина соединительных проводов с учетом схемы включения приборов.

Принимаем наименьшее допустимое стандартное сечение медного провода  $2,5 \text{ мм}^2$ .

Сопротивление провода:

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{F} = \frac{0,028 \cdot 8,62}{2,5} = 0,097 \text{ Ом}.$$

Полное расчетное сопротивление:

$$Z_P = r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}} + r_K = 0,097 + 0,22 + 0,05 = 0,367 \text{ Ом}.$$

Трансформаторы тока с низкой стороны КТП выбираем по току низковольтного выключателя. Выбираем трансформатор тока типа ТПЛ-10К-У3 с  $k_T = 1000/5$ .

Выбор трансформаторов напряжения.

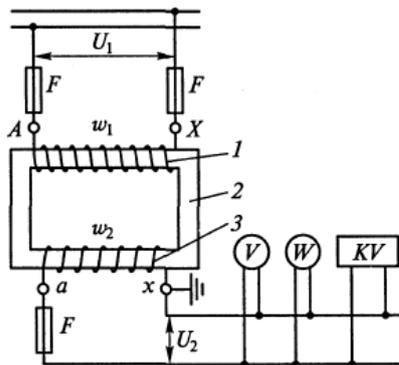


Рисунок 2.13.1 – Схема подключения трансформатора напряжения

Предварительно выбираем трансформатор напряжения НАМИ-10 класса точности 0,5 с номинальной мощностью  $S_{\text{ном}} = 120 \text{ ВА}$ .

Таблица 2.13.2 – Перечень необходимых приборов

Наименование прибора	Тип	Мощность одной обмотки, ВА	Число обмоток	cosφ	sinφ	Число приборов	Потребляемая мощность	
							P, Вт	Q, вар
Вольтмер	Э-377	2	1	0,38	0	1	2	-
Счетчик реактивной мощности	И-673	3 Вт	2	0,38	0,925	1	6	14,5
Счетчик активной мощности	И-680	3 Вт	2	0,38	0,925	1	6	14,5
Счетчик активной мощности	И-680	3 Вт	2	0,38	0,925	8	48	116,8
Счетчик реактивной	И-673	3 Вт	2	0,38	0,925	8	48	116,8
<b>ИТОГО:</b>							110	262,6

Вторичная нагрузка трансформатора.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{110^2 + 262,6^2} = 284,7 \text{ ВА} .$$

Три трансформатора напряжения, соединенных в звезду, имеют мощность:

$$3 \times 120 = 360 \text{ ВА} > 284,7 \text{ ВА}, \text{ т.е. данный трансформатор будет работать в}$$

выработанном классе точности.

## 2.14. Электроснабжение трансформаторного цеха.

Основной группой ЭП, составляющих суммарную нагрузку трансформаторного цеха, являются электродвигатели производственных механизмов. Из них, высокую долю занимают подвижные ЭП №33, 52-62.

При проектировании электроснабжения трансформаторного цеха достаточно систематизировать ЭП по надежности электроснабжения, режимам работы, мощности и напряжению, роду тока, используя остальные признаки как вспомогательные.

Произведем выбор электродвигателей для всего электрооборудования цеха по [21,]:  $P_{МЕХ} \leq P_{НОМ}$ , где  $P_{НОМ}$  - номинальная мощность электродвигателя данного производственного станка, кВт;

$P_{МЕХ}$  - механическая мощность производственного станка, кВт.

Для всего технологического электрооборудования принимаем электродвигатели марки АИР по [21, П1.1].

## 2.15. Распределение приемников по пунктам питания.

Распределение ЭП по пунктам питания осуществляется путём подключения группы ЭП к соответствующему распределительному пункту ПР. Так как ПР бывают различных типов и имеют определённое число присоединений (до 12), то для каждого ЭП необходимо выбрать автоматический выключатель, а затем, зная тип автоматического выключателя, подключить его к соответствующему ПР. Кроме того, для каждого ПР необходимо выбрать защитный аппарат.

Намечаем радиальную схему питающей сети цеха. Способ прокладки питающей сети цеха (от ТП-4 до пунктов питания) – в каналах.

Количество и тип распределительных пунктов для питания ЭП трансформаторного цеха сводим в таблицу 2.15.1.

Таблица 2.15.1- Выбор распределительных пунктов цеха №2

Узел питания	$I_p, A$	$n_{\text{линРП,факт}}$	Тип шкафа	$n_{\text{линРП}}$	$I_n \text{ РП, A}$
ПР1	34,46	8	ПР11-1045	8	100
ПР2	113,25	8	ПР8501-023	8	250
ПР3	140,72	11	ПР8501-027	12	250
ПР4	294,14	10	ПР8501-031	12	400
ПР5	618,45	9	ПР8501-117	10	630
ПР6	100,69	6	ПР8501-022	6	250
ПР7	36,28	3	ПР8501-022	6	250

## 2.16. Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры напряжением до 1 кВ.

Защита производится автоматическими выключателями.

Условия выбора автоматического выключателя:

$$I_{н.р.} \geq I_{\text{длит}};$$

$$I_{э.р} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск}};$$

Пример расчета токарно-винторезного станка:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta};$$

$$I_n = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 19,86 \text{ A};$$

$$I_{\text{пуск}} = 5 \cdot I_n = 99,30 \text{ A}$$

$$25 \text{ A} \geq 19,86 \text{ A};$$

$$25 \cdot 8 = 320 \text{ A} \geq 1,5 \cdot 99,30 = 148,96 \text{ A}.$$

Принимаем к установке автоматический выключатель ВА 13-29.

Выбор кабельной линии:

$$I_{\text{дон.}} \geq I_{\text{длит.}};$$

$$I_{\text{дон.}} \geq \frac{I_{\text{м.р.}} \cdot k_3}{k_{\text{нр1}} \cdot k_{\text{нр2}}};;$$

$$28 \text{ A} \geq 19,86 \text{ A};$$

$$28 \text{ A} \geq \frac{25 \cdot 1}{0,94 \cdot 1} = 26,60 \text{ A}.$$

Принимается к окончательной прокладке провод АПВ (1×4) с  $I_{\text{дон.}} = 28 \text{ A}$ .

Для группы ЭП (при числе ЭП более 5) пиковый ток определим как:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{р.гр}} - K_{\text{и}} \cdot I_{\text{н}}),$$

где  $I_{\text{пуск}}^{\text{max}}$  – максимальный пусковой ток из группы ЭП;

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

$K_{\text{и}}$  – коэффициент использования электроприемника с максимальным пусковым током;

$I_{\text{н}}$  – номинальный ток ЭП с максимальным пусковым током.

Пиковый ток для группы ЭП до 5 шт.

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + \sum I_{\text{н}},$$

где  $I_{\text{пуск}}^{\text{max}}$  – максимальный пусковой ток ЭП в ПР;

$I_{\text{н}}$  – номинальный ток ЭП.

Полученные расчеты представим в виде таблиц 2.17.1-2.17.8.

Таблица 2.16.1 – Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры для ПР1 трансформаторного цеха

ПР1							
Нэп	3,4	7,8	11	12	13	16	
Наименование узлов	токарно-винторезный станок	вертикально-сверлильный станок	Радиально-сверлильный станок	Вертикально-фрезерный станок	Горизонтально-фрезерный станок	Станок для фрезировки картонных колец	Итого:
P <sub>н</sub> ,кВт	10	4,5	8	17	12	7,5	
cosφ	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
I <sub>н</sub> ,А	19,86	8,94	15,89	33,76	23,83	14,90	
Кп	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
I <sub>п</sub> ,А	99,30	44,69	79,44	168,82	119,16	74,48	212,96
1,5(1,25)*I <sub>пуск</sub>	148,96	67,03	119,16	253,22	178,75	111,72	266,20
Защитный аппарат	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29
I <sub>тр</sub>	25,00	12,50	20,00	40,00	31,50	20,00	63,00
Кратность	6,00	6,00	6,00	12,00	6,00	6,00	6
I <sub>э.р.</sub>	150,00	75,00	120,00	480,00	189,00	120,00	378
К <sub>пр2</sub>	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
К <sub>пр1</sub>	1	1	1	1	1	1	1
I <sub>доп</sub>	28	19	22	47	40	22	51,99
I <sub>р</sub> /(К <sub>пр1</sub> *К <sub>пр2</sub> )	21,13	9,51	16,90	35,92	25,35	15,85	75
I <sub>з</sub> *k <sub>з</sub> /К <sub>пр1</sub> *К <sub>пр2</sub>	26,60	13,30	21,28	42,55	33,51	21,28	67,02
марка кабеля	АПВ(1x4)	АПВ(1x2,5)	АПВ(1x3)	АПВ(1x10)	АПВ(1x8)	АПВ(1x3)	АВВГ(1x16)
I <sub>р</sub> , А							48,872

Таблица 2.16.2 – Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры для ПР2 трансформаторного цеха

ПР2							
Нэп	1	2,5	6	9;10	14	15	
Наименование узлов	Токарно-винторезный станок с ЧПУ	Токарно-винторезный станок	Вертикально-сверлильный станок	Радиально-сверлильный станок	Лаквальцы	Пресс эксцентриковый	Итого:
P <sub>n</sub> ,кВт	15	10	4,5	8	3	4	
cosφ	0,85	0,85	0,85	0,85	0,9	0,92	
I <sub>n</sub> ,А	29,79	19,86	8,94	15,89	5,63	7,34	
Кп	5	5	5	5	5	5	
I <sub>п</sub> ,А	148,96	99,30	44,69	79,44	28,14	36,70	227,11
1,5(1,25)*I <sub>пуск</sub>	223,43	148,96	67,03	119,16	42,20	55,05	283,88
Защитный аппарат	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА57-35
I <sub>тр</sub>	40	25	12,5	20	8	10	80
Кратность	6	6	6	6	6	6	4
I <sub>э.р.</sub>	240,00	150,00	75,00	120,00	48,00	60,00	320
K <sub>пр2</sub>	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
K <sub>пр1</sub>	1	1	1	1	1	1	1
I <sub>доп</sub>	47	28	18	22	19	19	105
I <sub>р</sub> /(K <sub>пр1</sub> *K <sub>пр2</sub> )	31,69	21,13	9,51	16,90	5,99	7,81	72,28
I <sub>з</sub> *k <sub>з</sub> /K <sub>пр1</sub> *K <sub>пр2</sub>	42,55	26,60	13,30	21,28	8,51	10,64	85,11
марка кабеля	АПВ(1x10)	АПВ(1x4)	АПВ(1x2)	АПВ(1x3)	АПВ(1x2,5)	АПВ(1x2,5)	АВВГ-(1x25)
I <sub>р</sub> ,А							67,94

Таблица 2.16.3 – Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры для  
ПРЗ трансформаторного цеха

ПРЗ			
№п	17,18,19,20,21,22,23,24,25,26	50	
Наименование узлов	Горизонтально-намоточный станок	Вентялиционная установка	Итого:
$P_n, \text{кВт}$	17	55	
$\cos\phi$	0,85	0,95	
$I_n, \text{А}$	33,76	97,74	
$K_p$	5	5	
$I_p, \text{А}$	168,82	488,68	622,15
$1,5(1,25)*I_{\text{пуск}}$	253,22	733,02	777,69
Защитный аппарат	ВА13-29	ВА57-35	ВА57-35
$I_{\text{тр}}$	40	125	200
Кратность	12	8	4
Иэ.р.	480	1000	800
$K_{\text{пр}2}$	0,94	0,94	0,94
$K_{\text{пр}1}$	1	1	1
$I_{\text{доп}}$	47	140	250
$I_p/(K_{\text{пр}1}*K_{\text{пр}2})$	35,92	103,97	181,98
$I_z*k_z/K_{\text{пр}1}*K_{\text{пр}2}$	42,55	132,97	212,76
марка кабеля	АВВГ-(1x10)	АВВГ-(1x50)	АВВГ-(1x95)
$I_p, \text{А}$			171,06

Таблица 2.16.4 – Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры для ПР4 трансформаторного цеха

ПР4						
Нэп	34,35	37,38,39,40	47	49	36	
Наименование узлов	Очистная установка	Леса механические	Механическая тележка	Преобразователь сварочный	Установка для подогрева трансформаторного масла	Итого:
Рп,кВт	13	10	10	9,49	120	
cosφ	0,85	0,8	0,85	0,9	0,95	
Іп,А	25,82	21,10	19,86	17,80	213,24	222,42
Кп	5	5	5	3	1	
Іп,А	129,09	105,51	99,30	53,40	213,24	242,52
1,5(1,25)*Іпуск	193,64	158,26	148,96	80,10	319,86	363,78
Защитный аппарат	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29	ВА57-35	ВА57-39
Ітр	31,5	25	25	25	250	320
Кратность	12	12	6	6	2,5	2,5
Іэ.р.	378,00	300,00	150,00	150,00	625,00	800
Кпр2	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Кпр1	1	1	1	1	1	1
Ідоп	37	27	27	27	270	385
Ір/(Кпр1*Кпр2)	27,47	22,45	21,13	18,94	226,85	236,61
Із*кз/Кпр1*Кпр2	42,55	33,51	42,55	42,55	212,76	340,43
марка кабеля	АПВ(1x8)	АПВ(1x5)	АПВ(1x5)	АПВ(1x5)	АВВГ(1x70)	АВВГ(1x120)
Ір,А						222,42

Таблица 2.16.5 – Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры для ПР5 трансформаторного цеха

ПР5									
Нэп	27	28	41	43,44	45	46	48	51	
Наименование узлов	Трансформатор для пайки медных шин	Ванна лудильная	Печь вакуумная	Трансформатор для пайки медных шин	Насос	Стенд для сборки магнитопровода	Механическая тележка	Вентиляционная установка	Итого:
Рн,кВт	48,07	40	55	64,25	37	17	10	55	
cosφ	0,8	0,9	0,95	0,8	0,85	0,8	0,85	0,95	
Ін,А	101,44	75,03	97,74	135,58	73,48	35,87	19,86	97,74	618,45
Кп	3	1	1	3	5	5	5	5	
Іп,А	486,89	96,46	97,73	650,78	390,38	220,75	168,81	618,99	978,80
1,5(1,25)*Іпуск	730,34	144,69	146,60	976,17	585,58	331,13	253,22	928,48	696,06
Защитный аппарат	ВА57-35	ВА57-35	ВА57-35	ВА57-35	ВА57-35	ВА13-29	ВА13-29	ВА57-35	ВА55-41
Ітр	125	100	125	160	100	50	25	125	1000
Кратность	4	2,5	2,5	4	6	6	6	8	2
Іэ.р.	500,00	250,00	312,50	640,00	600,00	300,00	150,00	1000,00	2000,00
Кпр2	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	
Кпр1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Ідоп	140	130	140	175	130	60	27	140	1210
Ір/(Кпр1*Кпр2)	107,91	79,82	103,97	144,23	78,18	38,16	21,13	103,97	673,56
Із*кз/Кпр1*Кпр2	132,98	106,38	132,98	170,21	106,38	53,19	26,60	132,98	1063,83
марка кабеля	АВВГ(1х50)	АВВГ(1х35)	АВВГ(1х50)	АВВГ(1х70)	АВВГ(1х35)	АПВ(1х16)	АПВ(1х5)	АВВГ(1х50)	2хАВВГ(1х240)
Ір,А									

Таблица 2.16.6 – Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры для ПР6 трансформаторного цеха

ПР6				
Нэп	52	55	56,57,58,59	
Наименование узлов	Кран-балка, ПВ=25%	Кран-балка, ПВ=50%	Кран-балка, ПВ=50%	Итого:
Rn, кВт	5	50,56	24,89	
cosφ	0,85	0,85	0,85	
In, А	9,93	100,42	49,43	269,07
Kп	5	5	5	
Ip, А	93,78	853,53	398,06	921,85
1,5(1,25)*Iпуск	140,68	1280,30	597,10	1152,31
Защитный аппарат	ВА13-29	ВА57-35	ВА13-29	ВА57-39
Iтр	12,5	125	63	320
Кратность	6	8	6	4
Iэ.р.	75,00	1000,00	378,00	1280,00
Kпр2	0,94	0,94	0,94	0,94
Kпр1	1	1	1	1
Iдоп	21	140	75	385
Ip/(Kпр1*Kпр2)	10,56	106,83	52,59	286,24
Iз*kз/Kпр1*Kпр2	13,30	132,98	67,02	340,43
марка кабеля	АПВ(1x2,5)	АВВГ(1x50)	АПВ(1x16)	АВВГ(1x120)
Ip, А				269,07

Таблица 2.16.7 – Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры для ПР7 трансформаторного цеха

ПР7			
Нэп	33	53,54	
Наименование узлов	Тельфер	Кран-балка, ПВ=25%	Итого:
Rn, кВт	20	5	
cosφ	0,9	0,85	
In, А	37,51	9,93	
Kп	5	5	
Ip, А	187,57	49,65	207,43
1,5(1,25)*Iпуск	281,36	74,48	311,15
Защитный аппарат	ВА13-29	ВА13-29	ВА13-29
Iтр	50	12,5	63
Кратность	6	6	6
Iэ.р.	300,00	75,00	378,00
Kпр2	0,94	0,94	0,94

Продолжение таблицы 2.16.7.

Кпр1	1	1	1
Идоп	60	19	85
$I_p/(K_{пр1}*K_{пр2})$	39,91	10,56	44,93
$I_3*k_3/K_{пр1}*K_{пр2}$	53,19	13,30	67,02
марка кабеля	АПВ(1x16)	АПВ(1x2,5)	АПВ(1x25)
$I_p, A$			42,23

Таблица 2.16.8 – Выбор сечений проводников и защитной аппаратуры для ЭП на РУНН и ТП4

ЭП от РУ НН					ПС4
Нэп	29,20,31,32	60,61	62		
Наименование узлов	Электропечь для сушки обмоток	Кран-балка, ПВ=50 %	Кран-балка, ПВ=50 %	Инженерный центр	Трансформатор 1000
$P_n, кВт$	168	100,4	123,23	274,20	
cosφ	0,95	0,85	0,85	0,8	
$I_n, A$	298,54	199,40	244,74	578,62	1912,49
Кп	1	5	5	1	
$I_n, A$	298,54	997,01	1223,72	578,62	3558,05
$1,5(1,25)*I_{пуск}$	447,81	1495,51	1835,57	867,92	4760
Защитный аппарат	ВА52-37	ВА57-35	ВА52-37	ВА57-39	ВА75-45(2500*3)
$I_{тр}$	400	250	320	630	2500
Кратность	2	6	6	2	2
Э.р.	800,00	1500,00	1920,00	1260,00	5000
Кпр2	0,94	0,94	0,94	0,94	
Кпр1	1	1	1	1	
Идоп	465	295	390	390	
$I_p/(K_{пр1}*K_{пр2})$	317,59	212,13	260,37	615,55	
$I_3*k_3/K_{пр1}*K_{пр2}$	425,53	265,96	340,43	670,21	
Марка кабеля	АВВГ(1x240)	АВВГ(1x120)	АВВГ(1x185)	2xАВВГ(1x185)	

## 2.17. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В.

Расчет токов КЗ проводим для участка цеховой сети от ТП4 до наиболее удаленного ЭП№36 ( $P_H=120$  кВт). Полученные данные наносим на карту селективности действия аппаратов защиты.

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

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

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

расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем  $U_c=400$  В.

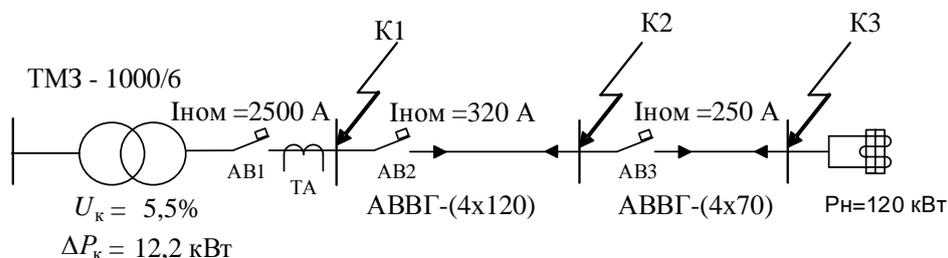


Рисунок 2.17.1 – Расчетная схема распределительной сети

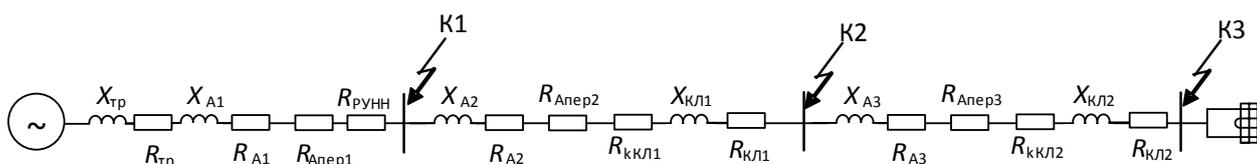


Рисунок 2.17.2 - Схема замещения распределительной сети

Сопровитления автоматических выключателей выбираем.

Параметры представим в виде таблицы 2.17.1.

Таблица 2.17.1 – Параметры автоматических выключателей

	AB1	AB2	AB3
R, мОм	0,08	0,15	0,4
X, мОм	0,08	0,17	0,4
R <sub>пер</sub> , мОм	0,1	0,4	0,6

Примечание: сопротивления трансформатора тока ТА1 можно не учитывать ввиду их малости [18].

Переходные сопротивления на ступенях распределения:

$$R_{PY\text{ НН}} = 15 \text{ мОм};$$

$$R_{ШР} = 25 \text{ мОм}.$$

Активные сопротивления кабельных линий:

$$R_{кл} = r_0 \cdot L;$$

$$R_{кл1} = 0,261 \cdot 40 = 10,44 \text{ мОм};$$

$$R_{кл2} = 0,447 \cdot 7 = 3,12 \text{ мОм}.$$

Индуктивные сопротивления кабельных линий:

$$X_{кл1} = 0,08 \cdot 40 = 3,24 \text{ мОм};$$

$$X_{кл2} = 0,082 \cdot 7 = 0,574 \text{ мОм}.$$

Переходные сопротивления контактов:

$$R_{конт1} = 0,024 \text{ мОм};$$

$$R_{конт2} = 0,029 \text{ мОм};$$

Активное сопротивление трансформатора:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_c^2}{S_{н.тр}^2};$$

$$R_{тр} = \frac{12,2 \cdot 400^2}{1000^2} = 1,952 \text{ мОм}.$$

Реактивное сопротивление трансформатора:

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_p \% \cdot U_c^2}{100 \cdot S_{\text{н.тр}}};$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{5,5 \cdot 400^2}{100 \cdot 1000} = 8,8 \text{ мОм}.$$

Упростим схему замещения, определив эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ.

$$R_1 = R_{\text{тр}} + R_{A1} + R_{\text{пер.}A1} + R_{\text{ПУ НН}};$$

$$R_1 = 1,952 + 0,08 + 0,1 + 15 = 17,132 \text{ мОм};$$

$$X_1 = X_{\text{тр}} + X_{A1};$$

$$X_1 = 8,8 + 0,08 = 8,88 \text{ мОм};$$

$$R_2 = R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{КОНТ1}} + R_{A2} + R_{\text{пер.}A2} + R_{\text{ШР}};$$

$$R_2 = 10,44 + 0,4 + 0,024 + 7,8 + 25 = 43,66 \text{ мОм};$$

$$X_2 = X_{A2} + X_{\text{КЛ1}};$$

$$X_2 = 3,24 + 0,17 = 3,41 \text{ мОм};$$

$$R_3 = R_{\text{КЛ2}} + R_{\text{КОНТ2}} + R_{A3} + R_{\text{пер.}A3};$$

$$R_3 = 3,12 + 0,029 + 0,4 + 0,6 = 4,14 \text{ мОм};$$

$$X_3 = X_{A3} + X_{\text{КЛ2}};$$

$$X_3 = 0,574 + 0,5 = 1,074 \text{ мОм}.$$

Схема замещения примет вид:

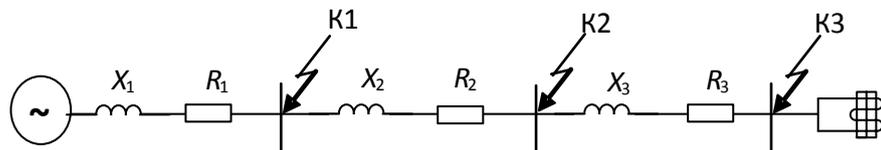


Рисунок 2.17.3 – Упрощенная схема замещения цеховой сети

Суммарное сопротивление для каждой точки КЗ:

$$Z_{\Sigma 1} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = 19,30 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma 2} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} = 61,92 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma 3} = \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (X_1 + X_2 + X_3)^2} = 66,20 \text{ мОм}.$$

Расчёт токов КЗ для точки К1:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 1}};$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 19,30} = 11,97 \text{ кА}.$$

Ток двухфазного КЗ:

$$I_{K1}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{K1}^{(3)} = 10,41 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$\frac{X_1}{R_1} = 0,52 \Rightarrow k_{уд} = 1;$$

$$i_{v,K1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^{(3)};$$

$$i_{v,K1} = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 11,97 = 16,88 \text{ кА}.$$

Аналогичным образом проделаем расчеты для других точек и, после расчета однофазного КЗ полученные значения токов КЗ занесем в таблицу 2.17.2.

Расчет однофазного КЗ.

Определим сопротивления и составим схему замещения для расчета токов однофазного КЗ Сопротивления трансформатора  $Z_{тр} = 81 \text{ мОм}$ .

К схеме замещения нужно добавить сопротивления нулевых проводников. Сопротивления нулевой жилы кабельных линий КЛ1 и КЛ2 по [19]:

$$R_{\phi-0,КЛ1} = r_0 \cdot l = 1,665 \cdot 40 = 66,60 \text{ мОм};$$

$$R_{\phi-0,КЛ2} = r_0 \cdot l = 2,039 \cdot 7 = 14,27 \text{ мОм}.$$

Кроме этого изменятся индуктивные сопротивления кабельных линий:

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot l = 0,559 \cdot 40 = 22,36 \text{ мОм};$$

$$X_{KL2} = x_0 \cdot l = 0,741 \cdot 7 = 5,187 \text{ мОм} .$$

Определим ток однофазного КЗ.

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\text{ТР}}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}},$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение в точке КЗ, кВ;

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

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

Проведем расчет для точки К2.

$$R_1 = R_{A1} + R_{\text{РУНН}} + R_{\text{пер.А1}} ;$$

$$R_1 = 0,08 + 15 + 0,1 = 15,18 \text{ мОм} ;$$

$$X_1 = X_{A1} = 0,08 \text{ мОм} ;$$

$$R_2 = R_{A2} + R_{\text{ШР}} + R_{\text{конт1}} + R_{\phi-0, \text{КЛ1}} + R_{\text{КЛ1}} ;$$

$$R_2 = 99,98 \text{ мОм} ;$$

$$X_2 = X_{A2} + X_{\text{КЛ1}} ;$$

$$X_2 = X_{A2} + X_{\text{КЛ1}} = 0,17 + 5,187 = 5,357 \text{ мОм} ;$$

$$Z_{\phi-0, \text{К2}} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} ;$$

$$Z_{\phi-0, \text{К2}} = 115,29 \text{ мОм} ;$$

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{230}{27 + 115,29} = 1,62 \text{ кА} .$$

Таблица 2.17.2 – Сводная ведомость токов КЗ

	К1	К2	К3
$I_{\text{к3}}^{(1)}$ , кА	5,45	1,62	1,27
$I_{\text{к3}}^{(2)}$ , кА	10,41	3,24	3,03
$I_{\text{к3}}^{(3)}$ , кА	11,97	3,72	3,48

Как видно из таблицы наибольшее значение имеют токи при трехфазном КЗ, а наименьшее – при однофазном КЗ. Причем, чем ближе место КЗ к источнику, тем больше амплитуда токов КЗ.

## 2.18. Расчет электрической сети по потере напряжения.

Для расчета выберем цепь ГПП-ТП4 –РП5 – ЭП№51 ( $P_H=55$  кВт).

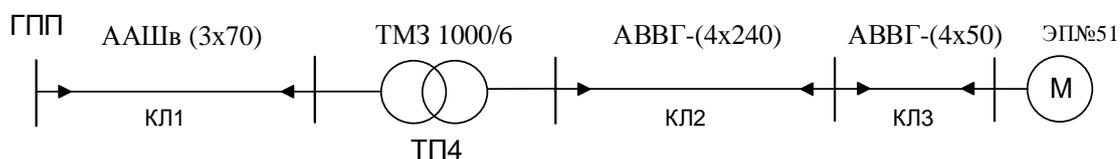


Рисунок 2.18.1 – Радиальная схема для расчета отклонения напряжения

Расчет потерь напряжений в различных элементах выбранной цепочки производим по нижеприведенным формулам.

Для трансформатора:

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

где  $\beta_m = \frac{S_{фактич}}{S_{н.тр.}}$  – фактический коэффициент загрузки цехового

трансформатора;

$S_{фактич}$  – фактическая нагрузка одного трансформатора, кВА;

$S_{н.тр.}$  – номинальная мощность цехового трансформатора, кВА;

$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}}$  – активная составляющая напряжения КЗ цехового

трансформатора, %;

$\Delta P_{кз}$  – потери активной мощности при КЗ, кВт;

$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2}$  – реактивная составляющая напряжения КЗ цехового трансформатора, %;

$\Delta P_{кз}$  – потери активной мощности при КЗ, кВт;

$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2}$  – реактивная составляющая напряжения КЗ цехового трансформатора, %;

$U_k$  – напряжение КЗ, %;

$\cos \varphi_2$  и  $\sin \varphi_2$  - коэффициент мощности вторичной нагрузки трансформатора и соответствующий ему  $\sin \varphi_2$ .

Для линии:

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U_i^2},$$

где  $P$  и  $Q$  – соответственно величины активной и реактивной мощностей, передаваемых по расчетному участку в рассматриваемом режиме, кВт и кВар;

$R$  и  $X$  – активное и индуктивное сопротивления данного участка сети, Ом;

$U_i$  - напряжение на данном участке сети (в начале участка), кВ.

Расчеты для построения эпюры отклонений напряжения для максимального, минимального и послеаварийного режимов, систематизируем в виде таблицы 2.18.1.

Таблица 2.18.1 – Расчеты для построения эпюр отклонений напряжения

Обозначение участка	1-2	2-3	3-4	4-5
Марка кабеля	ААШв	$S_{н.тр}=1000$ кВА	АВВГ	АВВГ
Сечение, мм <sup>2</sup>	(3x70)	$U_{кз}=5,5\%$	(4x120)	(4x70)
Длина, м	330	$\Delta P_{кз}=12,2$ кВт	40	7
Сопротивление, Ом				
Активное	0,148	$U_a=1,22\%$	0,0078	0,0019
реактивное	0,026	$U_p=5,363\%$	0,00324	0,0006
Нагрузка в режимах, кВА				
Максимальный	467,24+j310,60	461,79+j277,63	173,79+j85,32	120+j39,46
Минимальный	186,89+j186,36	184,72+j66,58	169,52+j51,19	120+j23,68
послеаварийный	934,47+j621,20	923,59+j555,26	173,79+j85,32	120+j39,46

Продолжение таблицы 2.18.1.

Потери U, В				
В максимальном				
В минимальном	12,29	155,93	4,2	0,64
В	5,4	65,88	1,89	0,63
послеаварийном	24,51	264,83	4,27	0,65
Отклонение U, %				
В максимальном				
В минимальном	0,195	2,48	1,08	0,165
В	0,09	1,10	0,504	0,169
послеаварийном	0,389	4,22	1,12	0,172

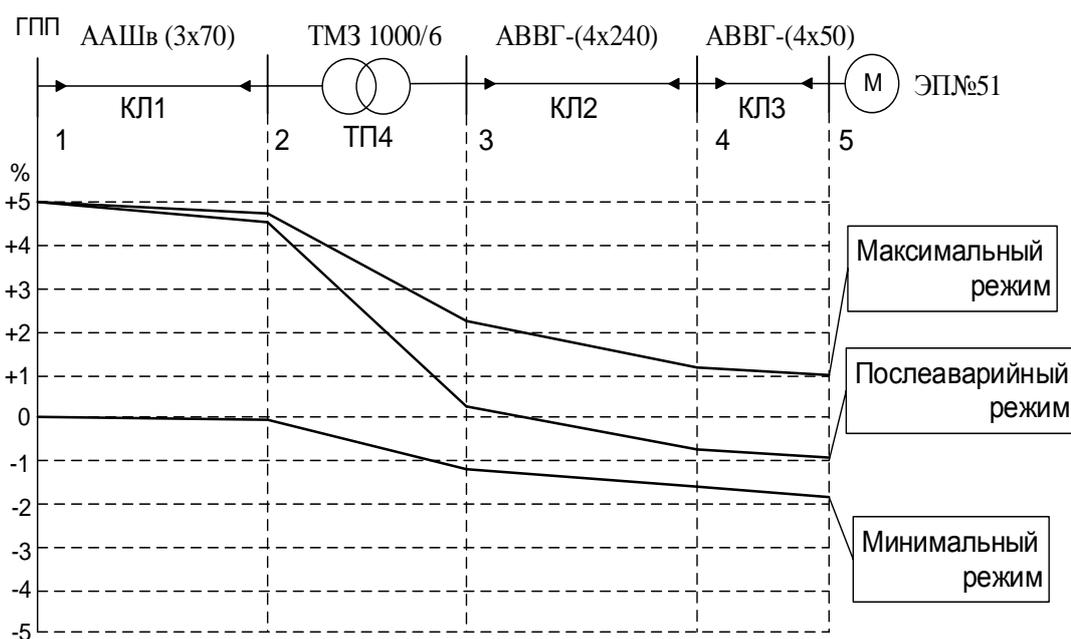


Рисунок 2.18.2 – Этюра отклонений напряжения

## 2.19. Построение карты селективности действия аппаратов защиты.

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

- 1) Номинальный и пусковой токи электроприемника;
- 2) Расчетный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- 3) Расчетный и пиковый ток подстанции;
- 4) Защитные характеристики защитных аппаратов (автоматических выключателей)

5) Значения токов КЗ в сети 0,4 кВ

6) Перед построением карты селективности строят цепочку защит, начиная с вводного автомата на ТП до какого-либо ЭП, чаще всего до наиболее удаленного и мощного. На цепочке указываются все необходимые данные о токах на каждом участке в нормальном режиме и при КЗ, данные аппаратов защиты в этой цепочке и уставки их срабатывания.

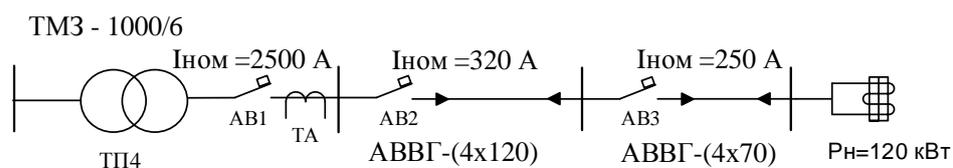


Рисунок 2.19.1 – Схема для построения селективности участка (ТП4-ЭП №62)

Таблица 2.19.1 – Данные для построения карты селективности

	ТП-4	РП4	ЭП №36	Ток КЗ в соотв.точках, кА		
				1	2	3
$I_p, A$	1519	222,42	–	11,97	4,44	3,62
$I_{лик}, A$	3558	270,39	–			
$I_{ном}, A$	–	–	213,24			
$I_{пуск}, A$	–	–	213,24			

Таблица 2.19.2 – Данные для построения карты селективности

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания уставки в зоне КЗ, А
ВА 75-45(ТП)	2500	5000
ВА 75-35(РП)	320	960
ВА 75-35(ЭП)	250	750

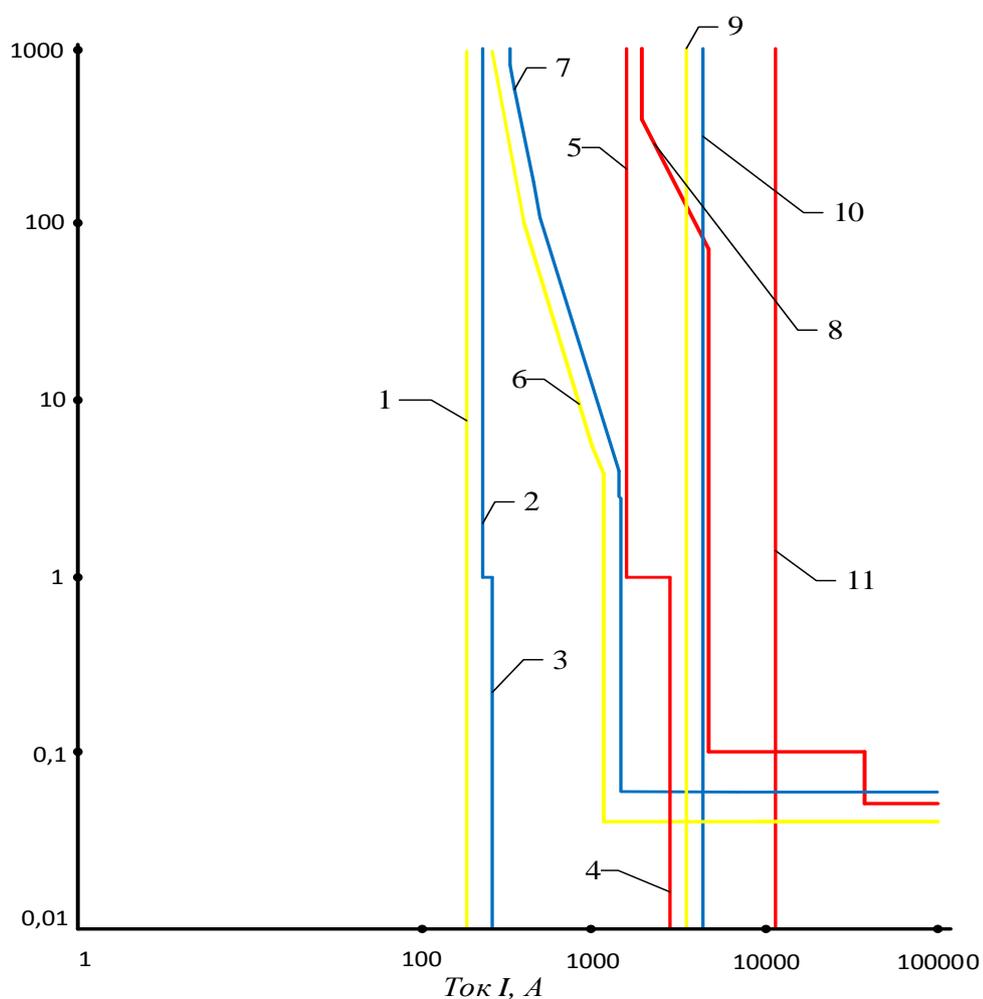


Рисунок 2.19.2 – Карта селективности действия аппаратов защиты

#### Обозначения на карте селективности:

- 1) номинальный ток ЭП;
- 2) расчётный ток силового распределительного пункта РП №4;
- 3) пиковый ток силового распределительного пункта РП №4;
- 4) расчетный ток подстанции КТП 4;
- 5) пиковый ток подстанции КТП 4;
- 6) защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35(250);
- 7) защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35(320);
- 8) защитная характеристика автоматического выключателя ВА75-45(2500);
- 9) ток КЗ в точке К3;
- 10) ток КЗ в точке К2;
- 11) ток КЗ в точке К1.

#### **2.20. Компенсация реактивной мощности в электросетях промышленных предприятий с электроприемниками, имеющими нелинейную вольт-амперную характеристику**

В рассматриваемом нами цехе присутствует нагрузка с нелинейной вольт-амперной характеристикой (РУ-2). В электрических сетях промышленных предприятий с нелинейными нагрузками применение конденсаторных батарей для компенсации реактивной мощности может привести к резонансным явлениям и выходу конденсаторных батарей из строя из-за перегрузки по току.

При проектировании установки батарей конденсаторов на подстанции с источниками высших гармоник необходимо проверить расчетом, что при выбранной мощности батареи не возникает перегрузка ее за счет токов высших гармоник. Если в каком-либо режиме работы подстанции или системы электроснабжения возможно возникновение резонанса токов или близкого к нему режима на частоте одной из гармоник, батарея может быть недопустимо перегружена по току. Режим резонанса тока при  $\nu < 13$  недопустим для батареи. При более высоких частотах гармоник ЭДС источников высших гармоник невелика и может оказаться, что токи гармоник, проходящие через батарею, не приведут к ее перегрузке; однако и в этом необходимо убедиться, произведя соответствующий расчет.

В качестве электроприемника с нелинейной вольт-амперной характеристикой выступает РУ-6кВ №2 (электротехническая лаборатория). К шинам данного РУ подключен трехфазный мостовой управляемый выпрямитель, источник реактивной мощности (конденсаторная батарея), а также АД и СД.

Однолинейная схема РУ №2 в Приложении Б.

РУ подключено к энергосистеме посредством токоограничительного реактора. В нашем случае энергосистемой являются шины в РУ 6-кВ ГПП.

Параметры АД, СД, КБ и реактора были рассчитаны ранее.

Нагрузка активно-индуктивного характера, ток нагрузки идеально сглажен.

Параметры выпрямителя в именованных единицах:

- выпрямленное напряжение фазы вторичной обмотки трансформатора  $U_d = 6000 \text{ В}$ ;
- номинальный ток нагрузки выпрямителя, соответствующий расчетному в о.е.  $I_d = 450 \text{ [A]}$ ;

### 2.20.1. Расчет гармонического состава фазных токов и напряжений выпрямителя

Параметрами выпрямителя примем значения, рассчитанные в [36].

Канал управления плечом трехфазного мостового выпрямителя показан на рис. 2.20.1. На рисунке обозначены:

ГПН – генератор пилообразного напряжения, К – компаратор, ФИ – формирователь импульса, У – усилитель.

Аналогичные каналы управления имеются и в фазах В, С.

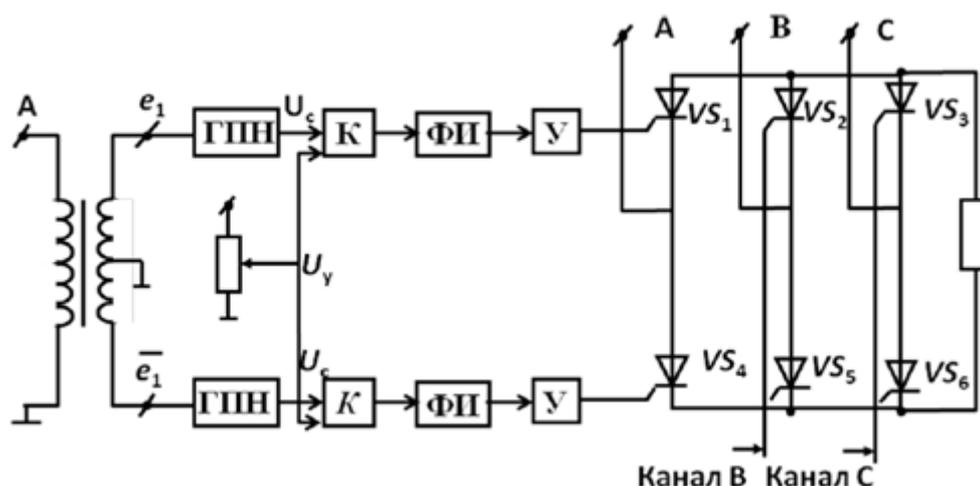


Рисунок 2.20.1. Блок – схема фазового управления вентилями фазы А выпрямителя

Определение степени искажения кривой напряжения осуществляется по известному гармоническому спектру несинусоидального, в частности, трапецеидального, тока, потребляемого вентиляльной нагрузкой.

Достаточно простое математическое описание кривой фазного тока позволяет получить аналитические зависимости его гармонического состава

$$I_{km} = \frac{3 \cdot E_m}{\pi \cdot k \cdot X_\phi} \cdot \sqrt{K_{k1} + K_{k2} \sin^2 \psi},$$

где  $I_{km}$  – амплитудное значение k-ой гармоники,  $k=1,5,7,11,13,17\dots$ ;

$$\psi = \alpha + \gamma/2;$$

коэффициенты

$$K_{k1} = \left[ \frac{\sin \left[ (K-1) \cdot \frac{\gamma}{2} \right]}{K-1} - \frac{\sin \left[ (K+1) \cdot \frac{\gamma}{2} \right]}{K+1} \right]^2,$$

$$K_{k2} = 4 \left[ \frac{\sin \left[ (K-1) \cdot \frac{\gamma}{2} \right]}{K-1} \cdot \frac{\sin \left[ (K+1) \cdot \frac{\gamma}{2} \right]}{K+1} \right].$$

Выполним расчет для пятой гармоники в о.е.:

Коэффициенты:

$$\begin{aligned} K_{k1} &= \left[ \frac{\sin \left[ (K-1) \cdot \frac{\gamma}{2} \right]}{K-1} - \frac{\sin \left[ (K+1) \cdot \frac{\gamma}{2} \right]}{K+1} \right]^2 = \\ &= \left[ \frac{\sin \left[ (5-1) \cdot \frac{0,469}{2} \right]}{5-1} - \frac{\sin \left[ (5+1) \cdot \frac{0,469}{2} \right]}{5+1} \right]^2 = 0,00139, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{k2} &= 4 \left[ \frac{\sin \left[ (K-1) \cdot \frac{\gamma}{2} \right]}{K-1} \cdot \frac{\sin \left[ (K+1) \cdot \frac{\gamma}{2} \right]}{K+1} \right] = \\ &= 4 \left[ \frac{\sin \left[ (5-1) \cdot \frac{0,469}{2} \right]}{5-1} \cdot \frac{\sin \left[ (K+1) \cdot \frac{\gamma}{2} \right]}{K+1} \right] = 0,133. \end{aligned}$$

Амплитудное значение основной гармоники тока трансформатора:

$$\begin{aligned} I_{5m} &= \frac{3 \cdot E_m}{\pi \cdot k \cdot X_\phi} \cdot \sqrt{K_{k1} + K_{k1} \sin^2 \psi} = \\ &= \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi \cdot 5 \cdot 0,14} \cdot \sqrt{0,00139 + 0,133 \cdot \sin^2 0,235} = 0,240 \text{ о. е.} \end{aligned}$$

Эквивалентное сопротивление питающей сети, реактивная составляющая которой зависит от частоты:

$$Z_{\phi 5} = r_\phi + jkx_\phi = 0,014 + j5 \cdot 0,14 = 0,7e^{j88,854} \text{ о. е.}$$

Ток пятой гармоники в питающей сети создает падение напряжения:

$$U_5 = I_{5m} \cdot |Z_{\phi 5}| = 0,178 \cdot 0,7 = 0,125 \text{ о. е.}$$

Последующие расчеты гармоник занесем в таблицу 2.20.1.

Таблица 2.20.1. Значения гармонических составляющих

Номер гармоники	$K_{k1}$	$K_{k2}$	$I_{km}$ , о. е.	$I_{km}$ , А
5	0,00139	0,133	0,240	108
7	0,00205	0,0784	0,167	75
11	0,0020	0,0076	0,093	42
13	0,00136	0,0024	0,053	24

По схеме замещения элементов в РУ№2 проведем расчет резонанса токов:

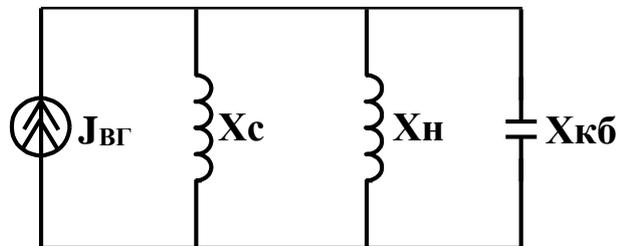


Рис. 2.20.1. Схема замещения

А) батарея конденсаторов отключена.

Эквивалентное сопротивление сети:

$$X_{\text{экв.н}} = X_{\text{экв.н}} = \frac{X_c \cdot X_n}{X_c + X_n} = \frac{0,28 \cdot 0,7}{0,28 + 0,7} = 0,2 \cdot \text{н Ом.}$$

Определяем фазные напряжения гармоник:

$$U_5 = 0,2 \cdot 5 \cdot 108 = 108 \text{ В.}$$

$$U_7 = 0,2 \cdot 7 \cdot 75 = 105 \text{ В.}$$

$$U_{11} = 0,2 \cdot 11 \cdot 42 = 93 \text{ В.}$$

$$U_{13} = 0,2 \cdot 13 \cdot 24 = 63 \text{ В.}$$

Б) батарея конденсаторов включена.

Эквивалентное сопротивление сети:

$$X'_{\text{экв.}n} = \frac{X_{\text{экв}} \cdot n \cdot \frac{X_{\text{кб}}}{n}}{\frac{X_{\text{кб}}}{n} - X_{\text{экв}} \cdot n} = \frac{X_{\text{экв}} \cdot X_{\text{кб}} \cdot n}{X_{\text{кб}} - X_{\text{экв}} \cdot n^2}.$$

Эквивалентное сопротивление сети:

$$\text{- для 5-ой гармоники: } X'_{\text{экв.}5} = \frac{0,2 \cdot 13,3 \cdot 5}{13,3 - 0,2 \cdot 5^2} = 1,6 \text{ Ом};$$

$$\text{- для 7-ой гармоники: } X'_{\text{экв.}7} = \frac{0,2 \cdot 13,3 \cdot 7}{13,3 - 0,2 \cdot 7^2} = 5,3 \text{ Ом};$$

$$\text{- для 11-ой гармоники: } X'_{\text{экв.}11} = \frac{0,2 \cdot 13,3 \cdot 11}{13,3 - 0,2 \cdot 11^2} = 2,7 \text{ Ом};$$

$$\text{- для 13-ой гармоники: } X'_{\text{экв.}13} = \frac{0,2 \cdot 13,3 \cdot 13}{13,3 - 0,2 \cdot 13^2} = 1,7 \text{ Ом}.$$

Напряжения гармоник определим по выражению:

$$U_n = X'_{\text{экв.}n} \cdot I_n.$$

$$U_5 = 1,6 \cdot 108 = 173 \text{ В}.$$

$$U_7 = 5,3 \cdot 75 = 398 \text{ В}.$$

$$U_{11} = 2,7 \cdot 42 = 113 \text{ В}.$$

$$U_{13} = 1,7 \cdot 24 = 41 \text{ В}.$$

Таким образом, на частоте 7-ой гармоники в сети возник резонанс токов, т.к.  $X_{\text{кб}} \approx X_{\text{экв}}$ .

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения сети ( $K_U$ ) будет равен:

$$K_U = \frac{\sqrt{U_5^2 + U_7^2 + U_{11}^2 + U_{13}^2}}{U_c} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{173^2 + 398^2 + 113^2 + 41^2}}{6000} \cdot 100\% = 7,5\%$$

Мировой опыт показывает, что снижение коэффициента искажения кривой напряжения надо проводить до норм, регламентированных в ГОСТах стран.

В соответствии с ГОСТ Р 51317.2.4 [37] в России допустимый  $K_{UD}$  зависит от класса электромагнитной обстановки, где устанавливается фильтр.

Наиболее жесткие требования установлены для 1-го класса электромагнитной обстановки ( $K_{UD} = 5\%$ ). К этому классу относятся СЭС, к которым подключаются технические системы, наиболее восприимчивые к ВГ.

Это: контрольно-измерительные лаборатории, системы управления технологическими процессами, вычислительные центры и т.д.

Второй класс электромагнитной обстановки с  $K_{UD} = 8\%$  характерен для ТОП и внутрипроизводственного присоединения электроприемников к сетям электропитания ПП.

Третий класс электромагнитной обстановки с  $K_{UD} = 10\%$  характерен только для точек внутрипроизводственного присоединения электроприемников. Электромагнитная обстановка должна относиться к классу 3 в следующих случаях:

- питание большей части электроприемников осуществляется через преобразователи;
- используется электросварочное оборудование;
- имеют место частые пуски электродвигателей большой мощности;
- имеют место резкие изменения нагрузок в электрических сетях.

В нашем случае потребитель относится к первому классу электромагнитной обстановки, поэтому необходимо применять меры для снижения коэффициента искажения кривой напряжения. Для этого необходимо принять к установке узкополосный фильтр, настроенный на частоту 7 гармоники.

Расчет показал, что для данного РУ №2 установка КРМ в виде КБ не будет являться оптимальной, так как вследствие присутствия источника высших гармоник данная КБ будет нагружаться токами высших гармоник, что приведет к ускоренному ухудшению характеристик КБ.

При нелинейном характере нагрузки возможно внезапное возникновение резонансных или близких к ним режимов в цепях батарей,

практика свидетельствует, что-в этом случае перегрузки по току и мощности могут возникать несколько раз в течение суток.

Далее определили гармонику, на частоте которой в сети возник резонанс токов. На частоте 7-ой гармоники в сети возник резонанс токов.

Для обеспечения нормальной работы батареи конденсаторов в электрических сетях 6—35 кВ батареи должны защищаться от перегрузки токами высших гармоник с помощью последовательно включенного реактора. При  $K_u > 5\%$  цепь реактор — батарея должна обеспечить снижение уровней высших гармоник и рассчитывается как фильтр высших гармоник.

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

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

1. Составление SWOT-анализа проектировки трансформаторного цеха электротехнического завода;
2. Планирование технико-конструкторских работ;
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

#### **3.1. SWOT-анализ работы трансформаторного цеха электротехнического завода.**

SWOT - анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта.

SWOT - анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Применительно к проектируемой АСР уровня, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его

возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения: С – сильные стороны проекта; Сл – слабые стороны проекта; В – возможности; У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1 - Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологи.  С2. Экологичность технологии.  С3. Квалифицированный персонал.  С4. Повышение безопасности производства  С5. Уменьшение затрат на ремонт оборудования	<b>Слабые стороны проекта:</b>  Сл1. Трудность монтажа системы  Сл2. Дороговизна оборудования  Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования
<b>Возможности:</b>  В1. Увеличение производительности электрооборудования  В2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления внутрицеховой структуры  В3. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые на производстве электротехнического завода  В4. Появление более простых универсальных электрических систем внутризаводской и внутрицеховой сети	 В1С1С2С3С4;  В2С1С5;  В3С5;  В4С1С4С5;	  В2Сл1Сл2;  В3Сл2;  В4Сл1Сл2Сл3;

Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства	У1С3;	У1Сл1Сл2;
У2. Ограничения на экспорт технологии		
У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции	У3С5;	У3Сл2;
У4. Угрозы выхода из строя сложного энергоемкого оборудования		У4Сл1Сл3;

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие;

Таблица 3.1.2 – Интерактивная матрица возможностей

	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности	В1	+	+	+	+	-
	В2	+	-	-	+	-
	В3	-	+	-	-	+
	В4	+	+	-	+	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	-	-
	В1	-	-	-		
	В2	+	+	+		
	В3	-	+	-		
	В4	-	-	-		

Таблица 3.1.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	+	-	-
	У2	+	-	-	+	-
	У3	-	-	-	+	+
	У4	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	-	-
	У1	+	+	-		
	У2	-	-	+		
У3	-	+	+			
У4	-	-	+			

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта, проведена оценка надежности и возможностей данного проекта. Было установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ (высокая энергоэффективность, повышенная безопасность производства), обеспечивающих повышение производительности, безопасности, экологичности и экономичности технического производства, но не смотря на все это в данном проекте есть и слабые стороны. Одной из таких является трудность монтажа системы, что является большим минусом при реализации проекта. Для того составляются интерактивные матрицы возможностей и угроз. Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 3.1.2 и 3.1.3, показывает соответствие сильных сторон с возможностями, нежели с угрозами. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

### 3.2. Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

1. Определение структуры работ в рамках технического проектирования;

2. Определение участников каждой работы;
3. Установление продолжительности работ;
4. Построение графика проведения проектирования системы электроснабжения электротехнического завода.

### 3.2.1. Структура работ в рамках технического проектирования

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. На каждый вид запланированных работ установлена соответствующая должность исполнителей.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования завода	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчеты и проектирование системы электроснабжения цеха №2 электротехнического завода	3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник
	4	Проектирование системы внутризаводского электроснабжения	Дипломник совместно с научным руководителем
	5	Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	Дипломник совместно с научным руководителем
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник совместно с научным руководителем
Оформление отчета по техническому	7	Составление пояснительной записки	Дипломник

проектированию	8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Защита выпускной квалификационной работы	9	Подготовка к защите ВКР	Дипломник совместно с научным руководителем

№ 1 – составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;

№ 2 –Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия – расчет электрических нагрузок методом коэффициента спроса;

№ 4 – Проектирование системы внутризаводского электроснабжения – выбор конфигурации схемы электроснабжения, расчет суммарных электрических нагрузок, выбор высоковольтного оборудования;

№ 5 – Проектирование системы внутрицехового электроснабжения – расчет нагрузок по цеху с учетом загруженности всех электроприемников, выбор защитной аппаратуры;

№6 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 7 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 8 - Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите и защиту проекта

№9 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации и ответного слова, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной

государственной комиссией.

### 3.2.2. Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Трудоемкость выполнения технического проектирования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула [9]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Минимальное  $t_{\min}$  и максимальное время  $t_{\max}$  получены на основе экспертных оценок.

В таблице 3.2.2 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работ.

Таблица 3.2.2 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	
	$t_{\min}$ , чел-дни		$t_{\max}$ , чел-дни		$t_{ожсi}$ , чел-дни			
	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	2	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	5	-	3,8	-	4
Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	-	20	-	25	-	22	-	22
Проектирование системы внутривзаводского электроснабжения	1	23	4	28	2,2	25	2	25
Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	1	23	4	28	2,2	25	2	25
Оценка эффективности полученных результатов	1	4	2	6	1,4	4,8	2	5
Составление пояснительной записки	-	6	-	10	-	7,6	-	8
Проверка выпускной квалификационной работы	1	-	2	-	1,4	-	2	-
Исправление ошибок	-	2	-	4	-	2,8	-	3
Подготовка к защите ВКР	2	3	4	6	2,8	4,2	3	5

### 3.2.3 Разработка графика проведения технического проектирования

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [5].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 3.2.2 строим план-график проведения работ (таблица 3.2.3).

Таблица 3.2.3 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнитель работ	T <sub>р</sub> , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	2	—													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	4	—													
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Дипломник	22		—	—	—										
4	Проектирование системы внутризаводского электроснабжения	Дипломник	25				—	—	—								
		Научный руководитель	2						—								
5	Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	Дипломник	25						—	—	—						
		Научный руководитель	2									—					
6	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник	5									—	—				
		Научный руководитель	2										—				
7	Составление пояснительной записки	Дипломник	8									—	—	—			
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель	2										—				
9	Исправление ошибок	Дипломник	3											—	—		
10	Подготовка к защите ВКР	Дипломник	5												—	—	
		Научный руководитель	3													—	

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее, по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 110 дней.

Из них:

97 дней – продолжительность выполнения работ дипломником;

13 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

### **3.3. Определение сметы затрат на технический проект**

Смета затрат представляет собой полный расчет затрат на создание технического проекта.

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- Материальные затраты
- Полную заработную плату исполнителей технического проекта
- Отчисления во внебюджетные фонды
- Накладные расходы

#### **3.3.1. Расчет материальных затрат**

В материальные затраты включают дополнительные затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители, картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к

использованию (натур.ед.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Таблица 3.3.1 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.
Бумага	1	250	250
Ручка	2	84	168
Папка	1	50	50
Калькулятор	1	722	710
Линейка	1	22	22
Итого			1200

При расчете материальных затрат не учитывались транспортные расходы, т.к. данные канцелярские принадлежности были доставлены на рабочее место самими исполнителями технического проекта (дипломником и научным руководителем).

### 3.3.2. Полная заработная плата исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$Z_{полн} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата работника, руб.;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых техническим работником, раб.дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} + Z_{\text{допл}} + Z_{\text{р.к.}}}{F_{\text{д}}},$$

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

$Z_{\text{допл}}$  – доплата за руководство расчетного проектирования, руб.;

$Z_{\text{р.к.}}$  – доплата с учетом районного коэффициента  $K_{\text{рк}}=1,3$ , руб.;

$F_{\text{д}}$  – фонд рабочего времени персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 3.3.2.1.

Таблица 3.3.2.1- Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб.	$Z_{\text{допл}}$ , руб.	$Z_{\text{р.к.}}$ , руб.	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	23264	2200	7639	33103	1273,1	13	16600
Дипломник	8022	4000	3607	15629	601,1	97	58300
Итого							74900

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта учитывают выплаты связанные с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 3.3.2.2.

Таблица 3.3.2.2 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$ , руб.	$Z_{\text{доп}}$ , руб.	$Z_{\text{полн}}$ , руб.
Руководитель	0,15	16600	2500	19100
Дипломник	0,12	58300	7000	65300
Итого $Z_{\text{осн}}$ , руб.		74900	9500	84400

### 3.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (74900 + 9500) = 25500 \text{ руб.}$$

### 3.3.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

### 3.4. Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение суммы затрат на технический проект приведено в таблице 10.

Таблица 3.4.1 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	1,2	0,9
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	84,4	63,9
3. Отчисления во внебюджетные фонды	25,5	19,2
4. Накладные расходы	21,5	16,0
Итого	132,5	100,0

Смета затрат на разработку технического проекта составляет 132,5 тыс.руб, из которых более половины (63,9 %) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

### 3.5. Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как: экономичность, гибкость, безопасность, обеспечение надлежащего качества электроэнергии, надежность.

1. Экономичность - оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Гибкость – возможность наращивания производственной мощности предприятия, при вводе более мощного оборудования.

3. Под обеспечением надлежащего качества электроэнергии понимается поставка потребителю электроэнергии соответствующей по характеристикам определенным в ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

4. Безопасность - это свойство системы электроснабжения сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией (монтаж, эксплуатация и проведение ремонтных работ).

5. Надежность - бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 3.5.1.

Таблица 3.5.1 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,25	5
2. Надежность	0,10	5
3. Безопасность	0,25	5
4. Экономичность	0,15	4
5. Гибкость	0,25	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_{p-ucn1} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,25 = 4,85$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности, гибкости и безопасности позволяют судить о надежности системы.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. Установлен один недостаток – трудность монтажа системы, который представляет угрозу для реализации технического проекта. В таких случаях используют интерактивные матрицы возможностей и угроз. Проанализировав данные матрицы, было установлено, что соответствия угроз с сильными и слабыми сторонами имеют низкую вероятность, что нельзя сказать о возможностях. В итоге следует, что данный технический проект имеет несколько важных преимуществ, таких как высокая безопасность производства и энергоэффективность, которые обеспечат повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей (научного руководителя, дипломника), составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет более качественно оценить и спланировать время работы исполнителей проекта.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. По этим данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект или нет.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала довольно высокий результат (4,85 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что реализация данного технического проекта позволяет увеличить эффективность электротехнического завода.

#### **4. Социальная ответственность**

##### **Введение**

В данной диссертации проводится исследование компенсации реактивной мощности в электросетях промышленных предприятий при наличии электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Основным инструментом исследования является программный комплекс, установленный на персональном компьютере. Для исследования используется следующее программное обеспечение: Технологическая информационная система «Добыча», MS Office. Рабочим местом проектировщика, проводящего данное исследование является место за рабочим столом с персональным компьютером, находящимся в кабинете диспетчерской на предприятии.

Выполнение работы представляет собой наблюдение за состоянием технологического оборудования, имеющего нелинейную вольт-амперную характеристику, а также постоянный контроль параметров режима работы и нагрузок. Производится учет компенсации реактивной мощности путем применения буферных накопителей энергии и оценки их эффективности для обеспечения бесперебойной работы системы. По окончании наблюдений производится запись в журнал технологического состояния энергетического оборудования, обычно при сдаче рабочей смены.

Целями данного раздела являются выявление и анализ вредных и опасных факторов, имеющих место на объекте, а также выработка мер по ограничению их воздействия на персонал, в рассматриваемом случае – место за персональным компьютером (ПК), находящимся в диспетчерской, расположенной на территории промышленного предприятия, но удаленном от электроэнергетических установок. Организационным вопросом обеспечения безопасности является необходимость

соблюдения правил, норм, инструкций и прочих документов, утвержденных законом.

## 4.1 Производственная безопасность

### 4.1.1 Анализ вредных и опасных факторов

Таблица 4.1.1.1 – Опасные и вредные фактора при работе оператора АСУ  
ТП

Источник фактора, наименование видов работы	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Технологический процесс представляет собой автоматическое управление и контроль основных параметров НПС. Здание диспетчерской находится на территории НПС.	1) Отклонения температуры и влажности воздуха от нормы; 2) Недостаточная освещенность; 3) Повышенный уровень шумов; 4) Электромагнитные излучения.	1) Поражение электрическим током; 2) Возгорание и пожар	Микроклимат – СанПиН 2.2.4.548 – 96 [8] Освещение – СП 52.13330.2011 [10] Шумы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [11] Электромагнитное излучение - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [12] Электротравматизм – ГОСТ 12.1.038-82 [14] Пожарная безопасность – СНиП 2.11.03-93 [16]

### 4.1.2 Анализ вредных факторов

#### 4.1.2.1 Отклонения показателей микроклимата

Микроклимат помещения - состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха.

Микроклимат помещений зданий характеризуется состоянием внутренней среды помещения, которая должна удовлетворять физиологическим и психологическим потребностям человека и обеспечивать стандартные минимальные качества жизни. Санитарные правила и нормы предназначены для

предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

Высокая производительность и комфортность труда на рабочем месте оператора АСУ зависит от микроклимата в производственном помещении.

По степени физической тяжести работа оператора АСУ относится к категории лёгких работ. Основные нагрузки на организм – нервно-психологические, а также зрительные. Так как основным видом работы оператора АСУ является работа с прикладным программным обеспечением и технической документацией, то потенциальными источниками опасных и вредных факторов являются персональные компьютеры и мониторы.

Поэтому в помещении должны быть обеспечены оптимальные параметры микроклимата, которые установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека.

Оптимальные параметры микроклимата — сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении.

Допустимые параметры микроклимата — сочетания значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности при усиленном напряжении механизмов терморегуляции не вызывают повреждений или ухудшения состояния здоровья.

В соответствии с временем года и категорией тяжести работ определены оптимальные величины показателей микроклимата согласно требованиям, приведены в таблице 4.1.2.1.1, а допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений приведены в таблице 4.1.2.1.2.

Таблица 4.1.2.1.1 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория 1а	23-25	40-60	0,1
Теплый	Категория 1а	20-22	40-60	0,1

Таблица 4.1.2.1.2 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ	Температура воздуха		Относительная влажность воздуха	Скорость движения воздуха	
		Ниже оптимальных не более	Выше оптимальных не более		Ниже оптимальных не более	Выше оптимальных не более
Холодный	Категория 1а	20,0-21,9	24,1-25,0	15-75	0,1	0,1
Теплый	Категория 1а	21,0-22,9	25,1-28,0	15-75	0,1	0,2

В зимний период времени (при работающей системе отопления) параметры температурно-влажностного состояния помещения определяются тепловой мощностью системы отопления и теплозащитными качествами наружной стены с одним или несколькими окнами.

В летний период (при выключенной системе отопления) в помещении с не кондиционируемым микроклиматом формируется температурно-влажностный режим, близкий по параметрам к наружной среде, а его параметры определяются теплозащитными качествами наружных ограждающих конструкций и естественным воздухообменом в помещении.

В соответствии с характеристикой помещения определен расход свежего воздуха [13] приведен в таблице 4.1.2.1.3.

Таблица 4.1.2.1.3 – Расход свежего воздуха

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение воздуха
Объем до 20 м <sup>3</sup> на человека	Не менее 30
20...40 м <sup>3</sup> на человека	Не менее 20
Более 40 м <sup>3</sup> на человека	Естественная вентиляция

#### 4.1.2.2 Недостаточная освещённость рабочей зоны

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию, сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его реактивности. К таким же последствиям приводит длительное пребывание в световой среде с ограниченным спектральным составом света и монотонным режимом освещения.

Излишне яркий свет слепит, снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы, уменьшает работоспособность, нарушает механизм сумеречного зрения. Воздействие чрезмерной яркости может вызывать фотоожоги глаз и кожи, кератиты, катаракты и другие нарушения.

Для обеспечения рационального освещения (отвечающего техническим и санитарно-гигиеническим нормам) необходимо правильно подобрать светильники в сочетании с естественным светом. Поддерживать чистоту оконных стекол и поверхностей светильников.

Рабочая зона или рабочее место оператора АСУ освещается таким образом, чтобы можно было отчетливо видеть процесс работы, не напрягая зрения, а также исключается прямое попадание лучей источника света в глаза.

Кроме того, уровень необходимого освещения определяется степенью точности зрительных работ. Наименьший размер объекта различения составляет

0.5 - 1 мм. В помещении присутствует естественное освещение. По нормам освещенности [17] и отраслевым нормам, работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для любого типа помещений.

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПК, представлены в таблице 4.1.2.2.1 [15].

Таблица 4.1.2.2.1 – Требования к освещению на рабочих местах с ПК

Освещенность на рабочем столе	300–500 лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м <sup>2</sup>
Прямая блескость источника света	200 кд/м <sup>2</sup>
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
– между рабочими поверхностями	3:1–5:1
– между поверхностями стен и оборудования	10:1
Коэффициент пульсации	не более 5%

### 4.1.2.3 Повышенный уровень шума

В настоящее время защита человека от шума стала одной из актуальных проблем. Это является следствием возрастания интенсивности шума в результате внедрения в промышленность новых технологических процессов, роста мощности оборудования и машин.

Шум на производстве наносит большой экономический и социальный ущерб. При определенных условиях неблагоприятно воздействуя на организм человека, он вызывает раздражающее действие, ускоряет процесс утомления, ослабляет внимание и психические реакции, это приводит к снижению производительности труда и увеличению случаев производственного травматизма (не слышно сигналов транспорта, автопогрузчиков и других машин). Шум

снижает производительность труда на промышленных предприятиях на 30%, повышает опасность травматизма, приводит к развитию заболеваний. В структуре профессиональных заболеваний Российской Федерации примерно 17% приходится на заболевания органа слуха.

Производственный шум представляет собой профессиональную вредность, если его интенсивность превышает определенный уровень. При выполнении работ с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами, рабочие места за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону предельно допустимое звуковое давление равно 75 дБА [16].

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц. Допустимым уровнем звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте следует принимать данные из таблицы 4.1.2.3.1.

Таблица 4.1.2.3.1. Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1 000 Гц	2 000 Гц	4 000 Гц	8 000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

К средствам коллективной защиты относятся:

- Уменьшение шума в источнике его возникновения. Это достигается за счет применения рациональных конструкций, новых материалов и гигиенически благоприятных технологических процессов.
- Изменение направленности излучения шума.
- Рациональная планировка предприятий и цехов.

- Акустическая обработка помещений.
- Уменьшение шума на пути его распространения от источника к рабочему месту (использование защитных экранов, глушителей шума).

#### **4.1.2.4 Электромагнитное излучение**

Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет серьезную опасность для человека.

Электромагнитное излучение принципиально отличается от остальных вредных факторов тем, что распространяется во всех направлениях и оказывает воздействие не только на пользователя, но и на окружающих.

Спектр излучения компьютерного монитора включает в себя рентгеновскую, ультрафиолетовую и инфракрасную области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. В ряде экспериментов было обнаружено, что электромагнитные поля с частотой 60 Гц (возникающие вокруг линий электропередач, видеодисплеев и даже внутренней электропроводки) могут инициировать биологические сдвиги (вплоть до нарушения синтеза ДНК) в клетках животных.

Следует отметить, что не только монитор, но и системный блок, и принтер - генерируют электромагнитное излучение в очень широком диапазоне частот. Но именно излучение монитора является более мощным.

Для того чтобы избежать негативного воздействия от электромагнитного излучения необходимо следовать основным нормам, описанным в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03[17]. Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПВМ представлены в таблице 4.1.2.4.1.

Таблица 4.1.2.4.1 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых  
ПЭВМ на рабочих местах

	Наименование параметров	ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 Гц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для снижения воздействия электромагнитного излучения применяют следующие меры:

- расстояние от монитора до работника должно составлять не менее 50 см;
- применение экранных защитных фильтров, а также средств индивидуальной защиты [17].

### 4.1.3 Анализ опасных факторов

#### 4.1.3.1 Поражение электрическим током

Требования электробезопасности данного объекта направлены на создание условий эксплуатации оборудования, при которых исключаются образование электрической цепи через тело человека, с целью полного снижения возможности воздействия электрического тока.

В соответствии с ПУЭ (7-е изд.) помещение по степени опасности поражения электрическим током относится к I категории - помещения без повышенной опасности:

- напряжение питающей сети 220 В, 50 Гц;
- относительная влажность воздуха 50%;
- средняя температура около 24°C;
- наличие непроводящего полового покрытия.

Важным фактором безопасности является заземление оборудования путем присоединения к контуру заземления. Заземляющее устройство является одним из

средств защиты персонала в помещении от возникновения искры, от напряжения, возникающего на металлических частях оборудования, не находящихся под напряжением, но могущих оказаться под ним в результате повреждения изоляции [18].

Все сооружения установок, в зависимости от категории, должны быть надежно заземлены при помощи заземляющих устройств от прямых ударов, вторичных проявлений молнии и статического электричества.

Каждая часть электроустановки, подлежащая заземлению, присоединяется непосредственно к сети заземления при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в заземляющий проводник заземляющих частей и электроустановок.

На предприятиях нефтяной и газовой промышленности заряды статического электричества в большинстве случаев образуются при движении нефти, нефтепродуктов и газов по трубопроводам, при сливно-наливных операциях, заполнении емкостей, разбрызгивании или распылении, дросселировании потоков сжатых газов, пропаривании и других операциях.

Для защиты от накопления и проявления зарядов статического электричества на оборудовании, на теле человека и на перекачиваемых веществах должны предусматриваться следующие меры, обеспечивающие стекание возникающих зарядов и предотвращение накопления заряда выше уровня 0.4 А/мин [19]:

- отвод зарядов путем заземления корпусов оборудования и коммуникаций, а также обеспечение постоянного электрического контакта нефтепродуктов и тела человека с заземлением;
- отвод зарядов путем уменьшения удельных, объемных и поверхностных электрических сопротивлений.

Заземляющие устройства для защиты от статического электричества должны объединяться со специальными устройствами заземления другого назначения или использовать естественные заземлители.

Во избежание поражения электрическим током необходимо твердо знать и выполнять следующие правила безопасного пользования электроэнергией:

1. Необходимо постоянно следить на своем рабочем месте за исправным состоянием электропроводки, выключателей, штепсельных розеток, при помощи которых оборудование включается в сеть, и заземления. При обнаружении неисправности немедленно обесточить электрооборудование, оповестить администрацию. Продолжение работы возможно только после устранения неисправности.

2. Во избежание повреждения изоляции проводов и возникновения коротких замыканий не разрешается:

- 1) вешать что-либо на провода;
- 2) закрашивать и белить шнуры и провода;
- 3) закладывать провода и шнуры за газовые и водопроводные трубы, за батареи отопительной системы;
- 4) выдергивать штепсельную вилку из розетки за шнур, усилие должно быть приложено к корпусу вилки.

3. Для исключения поражения электрическим током запрещается:

- 1) часто включать и выключать компьютер без необходимости;
- 2) прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера;
- 3) работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками;
- 4) работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе
- 5) класть на средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.
- 6) Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.

- 7) Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.
- 8) Ремонт электроаппаратуры производится только специалистами-техниками с соблюдением необходимых технических требований.
- 9) Недопустимо под напряжением проводить ремонт средств вычислительной техники и периферийного оборудования.
- 10) Во избежание поражения электрическим током, при пользовании электроприборами нельзя касаться одновременно каких-либо трубопроводов, батарей отопления, металлических конструкций, соединенных с землей.
- 11) При пользовании электроэнергией в сырых помещениях соблюдать особую осторожность.
- 12) При обнаружении оборвавшегося провода необходимо немедленно сообщить об этом администрации, принять меры по исключению контакта с ним людей. Прикосновение к проводу опасно для жизни.
- 13) Спасение пострадавшего при поражении электрическим током главным образом зависит от быстроты освобождения его от действия тока.

#### **4.2 Экологическая безопасность**

На НПС могут возникнуть различные чрезвычайные ситуации (ЧС). Путем экспертных оценок на месторождении, учитывая климатические условия можно спрогнозировать виды ЧС:

- природного характера:
- лесные и торфяные пожары;
- сильные морозы (ниже – 40<sup>0</sup> С);
- метели и снежные заносы.
- техногенного характера:
- пожары;
- отключение электроэнергии;

- взрывы и многое другое.

Специфической особенностью большинства объектов нефтегазовой промышленности является наличие значительного объема нефти и газа, что обуславливает возникновение аварий, пожаров, взрывов, затоплений, опасного поражения местности и атмосферы сильнодействующими ядовитыми веществами.

Таблица 4.2.1 – Компонентный состав нефти

п/п	Компоненты	Поступающая нефть, % мольный	Подготовленная нефть, % мольный
1	$CO_2$	0,12	0,0011
2	$N_2$	0,67	0,0085
3	$CH_4$	40,33	0,0238
4	$C_2H_6$	4,59	0,1524
5	<i>i</i> - $C_4H_{10}$	2,55	2,0147
6	$C_3H_8$	8,14	2,8911
7	<i>n</i> - $C_4H_{10}$	4,87	5,2346
8	<i>i</i> - $C_5H_{12}$	1,97	3,0175
9	<i>n</i> - $C_5H_{12}$	2,26	4,7314
10	$C_6H_{14}$	4,55	9,1308
11	$C_7H_{16}$	3,47	6,9821
12	$C_9 + \text{выше}$	24,16	61,0544
	ИТОГО:	100	100

Наибольшую опасность при ведении спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ (СНАВР) на объектах нефтегазовой промышленности представляют пожары, возникающие при разрушении технологических емкостей, аппаратов, трубопроводов и оборудования, вследствие коррозии, сильная загазованность, грозящая отравлениями и взрывами, задымленностью и затопленностью нефтью или нефтепродуктами территории.

Для предотвращения аварий, связанных с разрушением трубопровода вследствие воздействия на него коррозии на предприятии широко внедрена катодная защита трубопровода, что позволяет сократить количество аварий, а

также приостановить прирост площадей земель, загрязненных нефтью. Контроль за коррозионным состоянием системы нефтепровода позволяет своевременно определять коррозионную агрессивность транспортируемой по трубопроводам среды.

Спасательные работы на загазованных и задымленных участках в первую очередь направлены на эвакуацию из опасных районов в безопасные места всего незащищенного населения и только затем укрываемых, находящихся в герметичных защитных сооружениях, обеспечивающих регенерацию внутреннего воздуха.

К характерным видам СНАВР на объектах нефтегазовой промышленности относятся также:

- сбор и тушение растекающейся горячей нефти и нефтепродуктов или их отвод в безопасные места;
- охлаждение горящих и соседних емкостей, аппаратов и другого оборудования;
- создание дополнительных ограждающих валов;
- перекачку нефти и нефтепродуктов из горящих, разрушенных и ли поврежденных аппаратов в свободные или специальные аварийные;
- снижение давления в аппаратах, работающих под давлением, и наоборот повышают до атмосферного в вакуумных аппаратах;
- отключение аварийных участков и т.д.

Основные мероприятия по охране окружающей среды включают в себя:

- полную герметизацию технологического оборудования;
- полную утилизацию сточных вод;
- 100% контроль сварных швов соединений трубопроводов;
- защиту оборудования и трубопроводов от внутренней и наружной коррозии;
- автоматическое регулирование уровней и давления в аппаратах;
- аварийную сигнализацию предельных значений регулируемых параметров.

В случае нарушения технологического режима, связанного с авариями, в целях охраны окружающей среды предусматриваются следующие мероприятия:

- локализация аварийных разливов нефти;
- устройство бетонных площадок с бордюрным ограждением и дождеприемниками для сбора разлившейся нефти и загрязненных дождевых вод;

### **4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **4.3.1 Возможные ЧС на объекте**

На промышленном предприятии возможны природные и техногенные чрезвычайные ситуации. Техногенные чрезвычайные ситуации связаны с производственной деятельностью человека. Наибольшую опасность представляют взрывы, пожары, внезапное обрушение зданий или сооружений, авария в электроустановках объекта, террористический акт. Природные явления и процессы могут приводить к природным бедствиям, которые ежегодно уносят тысячи человеческих жизней и наносят огромный материальный ущерб. Природные бедствия представляют собой сложную совокупность разнообразных неблагоприятных и опасных природных явлений, и процессов. Помещение операторной относится к категории «В-3» по степени пожарной опасности [22].

#### **4.3.2 Пожарная безопасность**

Во всех производственных помещениях НПС существует вероятность возникновения пожароопасной ситуации.

В соответствии с требованиями норм тушение пожаров на объекте обеспечивается передвижными средствами и первичными средствами пожаротушения.

Для тушения пожара на объекте предусмотрен комплекс мероприятий и средств пожаротушения. Для принятия мер по тушению пожара до прибытия подразделений Государственной противопожарной службы, имеется запас пожарно-технического оборудования.

Система пожаротушения состоит из системы пожаротушения:

- пеной;
- водой.

Система пожаротушения пеной включает:

- генераторы пены;
- соединительные головки за обвалованием для присоединения пожарной техники;
- индивидуальные пенопроводы на отдельные объекты;
- пульт управления и мнемосхему в операторной с системой извещателей в очаге огня.

В насосных блоках и операторных имеются комплекты огнетушителей согласно норм и должностей.

Здания, сооружения и наружные установки оснащены первичными средствами пожаротушения в соответствии с ППБ 01-2003 (правила пожарной безопасности в РФ) и ППБО-85 (правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности). Количество и тип огнетушителей выбран в соответствии с категорией здания по взрывопожарной опасности, предельно защищаемой площади и классу пожара. Для оснащения противопожарным инвентарем на территории объекта установлены пожарные щиты. Комплектация противопожарным инвентарем, выполнена согласно норм оснащения пожарных щитов типа ЩП-В.

На объекте принята централизованная структура контроля за установками автоматической пожарной сигнализации, из помещения операторной.

Основные принципы обеспечения пожарной безопасности отражены в технический регламенте о требованиях пожарной безопасности.

## **4.4 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности**

### **4.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый сотрудник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

### **4.4.2. Организационные вопросы обеспечения безопасности**

Гигиенические критерии оценки тяжести и напряженности трудового процесса пользователей ПЭВМ.

1. Оценка тяжести и напряженности работы операторов пультов управления, профессиональная деятельность которых связана с высокой ответственностью, принятием решений в условиях дефицита времени (авиадиспетчеры, железнодорожные диспетчеры, операторы энергоустановок) должна осуществляться на основе как изучения условий, так и функционального

состояния работающих с последующей разработкой предложений по рациональной организации труда. Эта работа выполняется научно-исследовательскими организациями, аккредитованными в установленном порядке.

2. Организация работы с ПЭВМ осуществляется в зависимости от вида и категории трудовой деятельности.

Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы: группа А - работа по считыванию информации с экрана ВДТ с предварительным запросом; группа Б - работа по вводу информации; группа В - творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к разным видам трудовой деятельности, за основную работу с ПЭВМ следует принимать такую, которая занимает не менее 50 % времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с ПЭВМ, которые определяются: для группы А - по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену; для группы Б - по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену; для группы В - по суммарному времени непосредственной работы с ПЭВМ за рабочую смену, но не более 6 ч за смену.

В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе с ПЭВМ устанавливается суммарное время регламентированных перерывов.

Таблица 4.4.1.1. Суммарное время регламентированных перерывов

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	Группа А, количество знаков	Группа Б, количество знаков	Группа В, ч	При 8-часовой смене	При 12-часовой смене
І	До 20000	До 15000	До 2	50	80
ІІ	До 40000	До 30000	До 4	70	110
ІІІ	До 60000	До 40000	До 6	90	140

3. Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей ПЭВМ рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него.

При возникновении у работающих с ПЭВМ зрительного дискомфорта и других неблагоприятных субъективных ощущений, несмотря на соблюдение санитарно-гигиенических и эргономических требований, рекомендуется применять индивидуальный подход с ограничением времени работы с ПЭВМ.

4. В случаях, когда характер работы требует постоянного взаимодействия с ВДТ (набор текстов или ввод данных и т. п.) с напряжением внимания и сосредоточенности, при исключении возможности периодического переключения на другие виды трудовой деятельности, не связанные с ПЭВМ, рекомендуется организация перерывов на 10—15 мин через каждые 45—60 мин работы.

5. Продолжительность непрерывной работы с ВДТ без регламентированного перерыва не должна превышать 1 ч.

6. При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22 до 6 ч), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов следует увеличивать на 30 %.

7. Во время регламентированных перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития позотонического утомления целесообразно выполнять комплексы упражнений:

#### **Комплекс упражнений для глаз**

Упражнения выполняются сидя или стоя, отвернувшись от экрана при ритмичном дыхании, с максимальной амплитудой движения глаз.

#### **Вариант**

1. Закрывать глаза, сильно напрягая глазные мышцы, на счет 1 - 4, затем раскрыть глаза, расслабив мышцы глаз, посмотреть вдаль на счет 1 - 6. Повторить 4 - 5 раз.

2. Посмотреть на переносицу и задержать взор на счет 1 - 4. До усталости глаза не доводить. Затем открыть глаза, посмотреть вдаль на счет 1 - 6. Повторить 4 - 5 раз.

3. Не поворачивая головы, посмотреть направо и зафиксировать взгляд на счет 1 - 4, затем посмотреть вдаль прямо на счет 1 - 6. Аналогичным образом проводятся упражнения, но с фиксацией взгляда влево, вверх и вниз. Повторить 3 - 4 раза.

### **Комплексы упражнений физкультурных минуток**

Физкультминутка (ФА/) способствует снятию локального утомления. По содержанию ФМ различны и предназначаются для конкретного воздействия на ту или иную группу мышц или систему организма в зависимости от самочувствия и ощущения усталости.

ФМ общего воздействия

Вариант

1. И. п. - о. с. 1 - 2 - встать на носки, руки вверх-наружу, потянуться вверх за руками. 3 - 4 - дугами в стороны руки вниз и расслабленно скрестить перед грудью, голову наклонить вперед. Повторить 6 - 8 раз. Темп быстрый.

2. И. п. - стойка ноги врозь, руки вперед, 1 - поворот туловища направо, мах левой рукой вправо, правой назад за спину. 2 и. п. 3 - 4 - то же в другую сторону. Упражнения выполняются размашисто, динамично. Повторить 6 - 8 раз. Темп быстрый.

3. И. п. 1 - согнуть правую ногу вперед и, обхватив голень руками, притянуть ногу к животу. 2 - приставить ногу, руки вверх-наружу. 3 - 4

4. то же другой ногой. Повторить 6 - 8 раз. Темп средний.

1.8. Работающим на ПЭВМ с высоким уровнем напряженности во время регламентированных перерывов и в конце рабочего дня рекомендуется психологическая разгрузка в специально оборудованных помещениях (комната психологической разгрузки).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе получены и защищаются следующие результаты:

1. Проведенный анализ и исследование коэффициентов реактивной мощности различных электроприемников показал, что на промышленных предприятиях имеются большие резервы по снижению потерь электроэнергии, за счет компенсации реактивной мощности, и как следствие исключение перетоков реактивной мощности.

2. Установлено, что на промышленных предприятиях со специфическими электроприемниками, применение традиционных средств компенсации РМ (конденсаторных батарей) неэффективно и необходимо применять устройства, позволяющие в комплексе решать проблему компенсации РМ и повышения качества электроэнергии (пассивные, активные и гибридные фильтры, статические тиристорные компенсаторы и корректоры коэффициента мощности). Приведены их характеристики и рекомендации по выбору.

3. Разработаны основные положения новой методики выбора средств компенсации РМ на промышленных предприятиях со специфическими электроприемниками, учитывающие как высшие гармоники, так и интергармоники, новые средства компенсации РМ и новые стоимостные показатели на компенсаторы и потери электроэнергии.

Определено число и мощность цеховых силовых трансформаторов марки ТМЗ мощностью 2500, 1000 и произведено их распределение по цехам завода с учетом категории надежности. Питание цеховых трансформаторов осуществляется двухцепными кабельным линиям напряжением 10 кВ марки ААШв.

Питание предприятия выполнено двухцепной ВЛ проводом АС-70 напряжением 110 кВ. Для обеспечения надежности электроснабжения потребителей второй категории, устанавливаются два трансформатора ТДН-25000/110. Выбор трансформаторов осуществлялся с учетом компенсации

реактивной мощности на предприятии.

После расчетов токов КЗ, были выбраны аппараты защиты от них с высокой стороны трансформаторов в виде масляных выключателей марки ВМПЭ-10-20/630УЗ. Для исключения влияния АД и СД на токи КЗ были установлены сдвоенные реакторы РБСГ 10-2х630-0,25 УЗ.

На КРУ-10 кВ были выбраны измерительные трансформаторы напряжения марки НАМИ-10, трансформаторы тока ТПЛ-10 для подключения измерительных приборов и счетчиков.

Для рассматриваемой КТП в трансформаторном цехе были выбраны два трансформатора марки ТМЗ-1000/10. Для питания трансформаторов от КРУ-10 кВ были выбраны кабели марки ААШв 3х70. Эти сети были проверены на действие токов КЗ.

Согласно принятых элементов СЭС была построена однолинейная схема трансформаторного цеха электротехнического завода (приложение В).

Произведен анализ технического проекта в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», а именно проработаны следующие темы SWOT-анализ работы и эксплуатации системы электроснабжения электротехнического завода, планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

В разделе «Социальная ответственность» представлены оценка условий труда, приведен анализ вредных и опасных факторов, рассмотрены меры защиты от опасных факторов, пожарная безопасность и охрана окружающей среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие/А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. – Томск: Изд. ТПУ, 2006.-248 с.
2. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Издание седьмое.
3. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие./ Л.П. Сумарокова; Томский политехнический университет – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 288 с.
4. ГОСТ 13109-97. Качество электрической сети.
5. Конденсаторный завод ЗАО «Электроинтер»: [электронный ресурс]. М., 2009-2015. URL: <http://www.electrointer.ru>. (дата обращения: 08.11.2015).
6. Производственный календарь 2016 года: [электронный ресурс]. М., © 2006—2016. URL: <http://calendar.yoip.ru>. (дата обращения: 31.03.2016).
7. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4 – е изд., перераб. И доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил.
8. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические Распределительных устройств подстанций 35-750 КВ. Типовые решения. Дата введения-2007-12-20
9. РТМ 36.18.32.4-92
10. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений / Б.И. Кудрин. – 2-е изд. – М.: Интернет Инжиниринг, 2006. – 672 с: ил.
11. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий.
12. Мельников М. А. Внутризаводское электроснабжение: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 180 с.
13. Грейсух М.В. Лазарев С.С.: Расчеты по электроснабжению промышленных предприятий. М., «Энергия», 1977. 312 с. с ил.

14. Токи короткого замыкания от электродвигателей: [электронный ресурс]. М., © 2010—2016. URL: <http://www.websor.ru> (дата обращения: 28.03.2016)
15. Энергетика. Оборудование. Документация: [электронный ресурс]. М., © 2004—2016. URL: <http://forca.ru> (дата обращения: 28.03.2016)
16. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.; ил.
17. Низковольтные автоматические выключатели: учебное пособие / А.В. Кабышев, Е.В. Тарасов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 346 с.
18. Обухов С.Г. Математическое моделирование в системах электроснабжения: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Математическое моделирование в системах электроснабжения» для студентов ИнЭО, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение промышленных предприятий» / С.Г.Обухов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 74 с.
19. ГОСТ 28249-93 (Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ).
20. РД 153-34.0-20.527-98 (Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования).
21. Королев О.П., Радкевич В.Н., Сацукевич В. Н.: "Электроснабжение промышленных предприятий". Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию. - Мн.: БГПА, 1998.
22. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). "Опасные и вредные производственные факторы. Классификация."
23. ГОСТ 12.1.005-88 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны."
24. СНиП 23-05-95\* "Строительные нормы и правила РФ. Естественное и

искусственное освещение.”

25. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 “Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.”

26. ГОСТ 12.1.003-83 “Шум. Общие требования безопасности.”

27. ГОСТ 12.1.012-90 “Вибрационная безопасность. Общие требования.”

28. СанПиН 2.2.4.1191-03 “Электромагнитные поля в производственных условиях.”

29. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 “Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы.”

30. №123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” от 22.07.2008 (с изменениями и дополнениями).

31. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.

32. СП 5.13130.2009 “Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.”

33. СП 9.13130.2009 “Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.”

34. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009, №1116 (с изменениями от 24.12.2014) “Об организации сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования "Город Томск".”

35. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

36. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. - 5-е изд., перераб. и доп. / И.В. Жежеленко. // М.: Энергоатомиздат, 2005 - 358 с.
37. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко // М.: Энергоатомиздат, 1989. - 176с.
38. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. М.: Электроатомиздат, 1981. - 200 с.
39. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии/ Ю. С. Железко // М.: Энергоатомиздат, 1985. - 224с.
40. Железко Ю. С. Новые нормативные документы, определяющие взаимоотношения организаций и покупателей электроэнергии в части условий потребления реактивной мощности / Ю. С. Железко // Электрика. 2008. №2. С. 3-8.
41. Железко Ю. С. О нормативных документах в области качества электроэнергии и условий потребления реактивной мощности / Ю. С. Железко // Электрические станции. 2002. №6. С. 18-24.
42. Железко Ю. С., Герман Л. А. Методы учета тяговых сетей электрифицированных железных дорог в системном расчете компенсации реактивной мощности. - Промышленная энергетика, 1989, №11.
43. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов. М.: ЭНАС, 2009.-456 с.
44. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: учебник: учебник для вузов / Г.С. Зиновьев // Новосибирск, НГТУ, 2009-320 с.

## Приложение А

Раздел Введение. Глава 1. Объект и методы исследования.  
Глава 2. Расчеты и аналитика

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Е	Апрелев Игорь Викторович		

Консультант школы отделения электроэнергетики и электротехники:

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Матухин Д.Л.	к.п.н.		

## INTRODUCTION

Relevance of the topic. All industrial consumers of electricity, along with the consumption of active power, also consume reactive power (PM). The transfer of PM from power plants to consumers via electric grids leads to additional losses of active power. These additional losses can be reduced if the networks are unloaded from the transmission of reactive power. This can be achieved if we install sources of RM from electricity consumers.

Losses in electrical networks grow rapidly with decreasing  $\cos\phi$ . At  $\cos\phi = 0.5$  they reach 40%. According to calculations, an increase in the weighted average  $\cos\phi$  in Russia as a whole by 0.01 allows one to save about 1 billion kWh of electricity per year. In addition, this increase in  $\cos\phi$  makes it possible to release 150,000 kW of power from generators of power plants.

Along with the loss of active power, reactive power has a great influence on the stability of energy systems. With the help of RM sources, it is also possible to improve voltage regimes, both in industrial plants and in networks of power supply organizations.

A large number of publications, both in our country and abroad, have been devoted to solving the problem of compensation of RM in industrial enterprises. Among them, we can mention the works of Abramovich B.N., Altunin B.Y., Belousov V.N., Vagin G.Y., Vakhnina V.V., Venikova V.A., Vorotnitsky V.E., Herman L.A., Glushkov V.M., Gribina V.P., Dobrusina L.A., Eremin O.I., Zhezhelenko I.V., Zhelezko Y.S., Zorina V.V., Karpova F.F., Kovaleva I.N, Kornilova G.P., Kuznetsova A.B., Loskutova A.B., Melnikova H.A., Pekelis V.G., Rogalsky B.S., Saltykova V.M., Serebryakova A.C. and many others.

However, despite the great urgency of the problem of compensating RMs in industrial enterprises (PP), it is being solved very slowly, in view of the appearance on the PP of a large number of specific electric receivers (with a sharply variable and non-sinusoidal mode of operation), an outdated regulatory framework (it was developed in 1986 and was not revised), the emergence of a large number of new sources of RM and the lack of clear recommendations on their choice and scope. The real dissertation is

devoted to solving these problems.

The object of the study is power supply systems and electric receivers of industrial enterprises.

The subject of the study is the sources of reactive power, their choice and optimal placement.

The purpose of the work is the development of criteria, methods, algorithms and methods aimed at increasing the efficiency of compensation of RM in industrial enterprises with electric receivers that have a nonlinear VAC.

Objectives of the study. To achieve this goal, the following scientific and practical problems are solved in the dissertation:

1) Calculate the load of the transformer shop.

2) Determine the estimated load of the enterprise as a whole for the estimated active and reactive loads of the workshops, taking into account the design load of lighting the workshops and the territory of the enterprise.

3) Calculate the scheme of internal power supply. For this purpose, the number and capacities of the shop transformer substations and conductors for their connection and power supply, as well as losses in the shop TP and cable lines are selected.

4) Develop a scheme for external power supply. This calculation includes the selection of the voltage of the plant supplying the plant, the section of the wires, the choice of the power of the transformers of the GPP. All this is done taking into account the reliability of electricity supply, that is, the supply line is a two-circuit line, and the GPP is a two-transformer substation.

5) Calculate the short-circuit currents in the network above 1000 V to check the correct selection of the conductor cross-sections and the selection of protection devices for shop TP.

6) Analysis and research of reactive power consumers at an industrial enterprise.

7) Analysis and investigation of the field of application of perspective sources of reactive power.

8) Development of optimal methods for compensation of reactive power in electrical networks of industrial enterprises with voltages up to and above 1000 V.

Methods of scientific research. To solve the tasks set, methods of economic, correlation and spectral analysis were used.

Scientific novelty of the work.

1) The main provisions of reactive power compensation in modern conditions of cardinal change in the cost parameters of electrical equipment and power losses are distinguished, characterized in that:

- in 0.4 kV networks, full compensation of reactive power is proposed in accordance with the conducted studies;
- methods for compensating reactive power on 6 (10) kV buses are specified, namely, it is advantageous for operating enterprises to use LED with a speed of more than 1000 rpm. and a power of more than 1000 kW, and in the newly-designed enterprises the best option is to install capacitor batteries;

2) Investigations of existing and future sources of reactive power for industrial enterprises with specific electric receivers, with consideration of specific power losses, comparative unit cost characteristics and areas of their preferred application, allow choosing optimal compensation options for reactive power in the first design stage.

3) For industrial enterprises with specific electric receivers that have nonlinear volt-ampere characteristics,

a new methodology for calculating PM compensation using narrowband and wideband filters is substantiated, in which:

- the procedure for calculating the number of filters is defined;
- the resonant frequencies of the filters are determined;
- the filter capacities are determined;
- calculation of the residual voltage of the  $n$ th harmonic after switching on the filter;
- It is recommended to use broadband filters of the second order and type C filters at high capacities of capacitor banks and the presence of interharmonics.

Practical value of the results of work.

1. Proposed criteria and methods for selecting various sources of reactive power, taking into account new developments, allow to choose the optimal types of

compensating devices and significantly reduce energy losses in the elements of power supply systems of industrial enterprises.

2. The developed computer models of load nodes with powerful arc furnaces, taking into account static compensators, allow to determine levels of non-sinusoidality at the points of connection of the enterprise to power supply organizations, and also to select and optimize the parameters of filter-compensating devices.

3. An engineering method for calculating and selecting the parameters of various RM compensators has been developed, which makes it possible to solve the problem of compensation of RMs in a complex and to improve the quality of electric power in enterprises with specific electric receivers.

Structure and amount of work. The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of used sources, three annexes and contains 80 pages of the main text.

## Object and methods of research

The object of the study is the electrical plant as a whole (Fig.1.1, Table 1.1) and its transformer manufactory in particular (Fig. 1.2, Table 1.2).

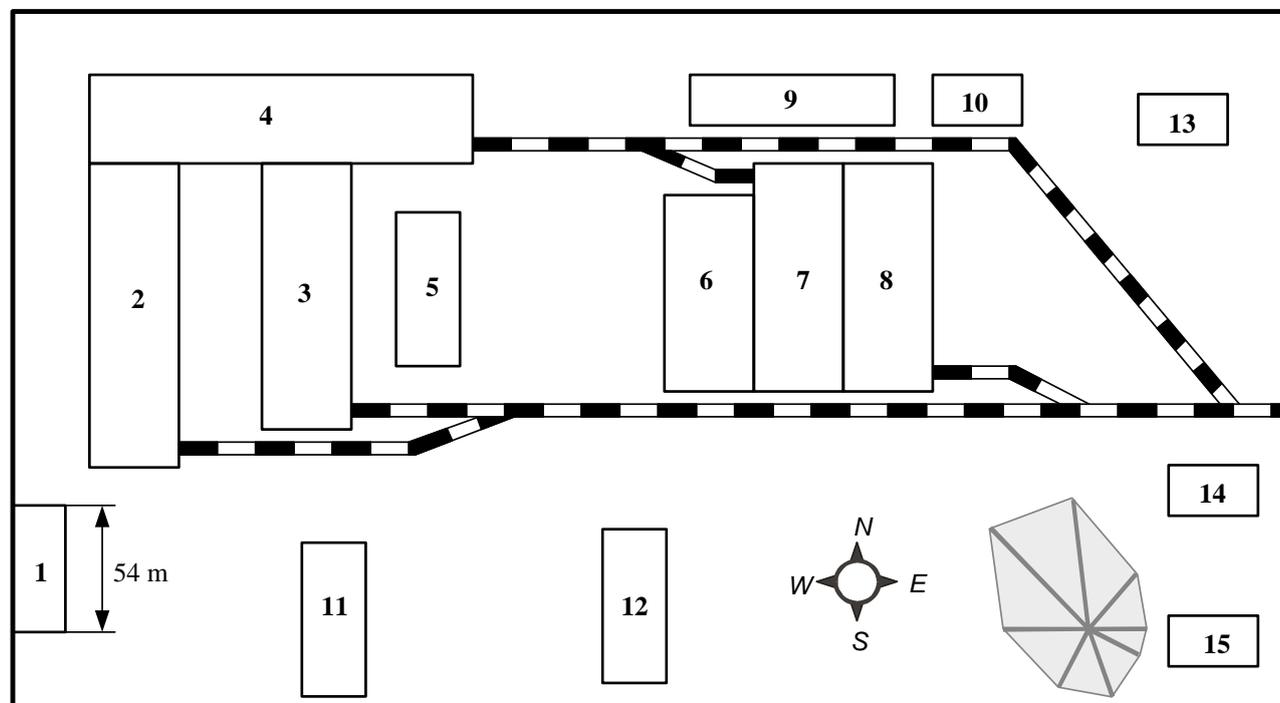


Figure 1.1 - General layout of the territory of the enterprise

Table 1.1 - Information on electrical loads of the plant

№	Manufactory name	P, kw
1	Engineering Center	675
2	Transformer manufactory 0.38 kV - 6 kV test station	--- 7500
3	Large machines 0.38 kV - 6 kV test station	5834 700
4	Hydraulic hull 0.38 kV - 6 kV test station	4918 6900
5	Conversion technology	480

Extension Table 1.1

6	High-voltage devices 0.38 kV - 6 kV test station	2103 4000
7	Assembling components	1510
8	Operation and repair service	556
9	Residential premises	410
10	Treatment facilities	255
11	Mechanical repair	650
12	Instrumental manufactory	350
13	Compressor manufactory 0.38 kV - 6 kV test station	250 1250
14	Laboratory	350
15	Stock	150

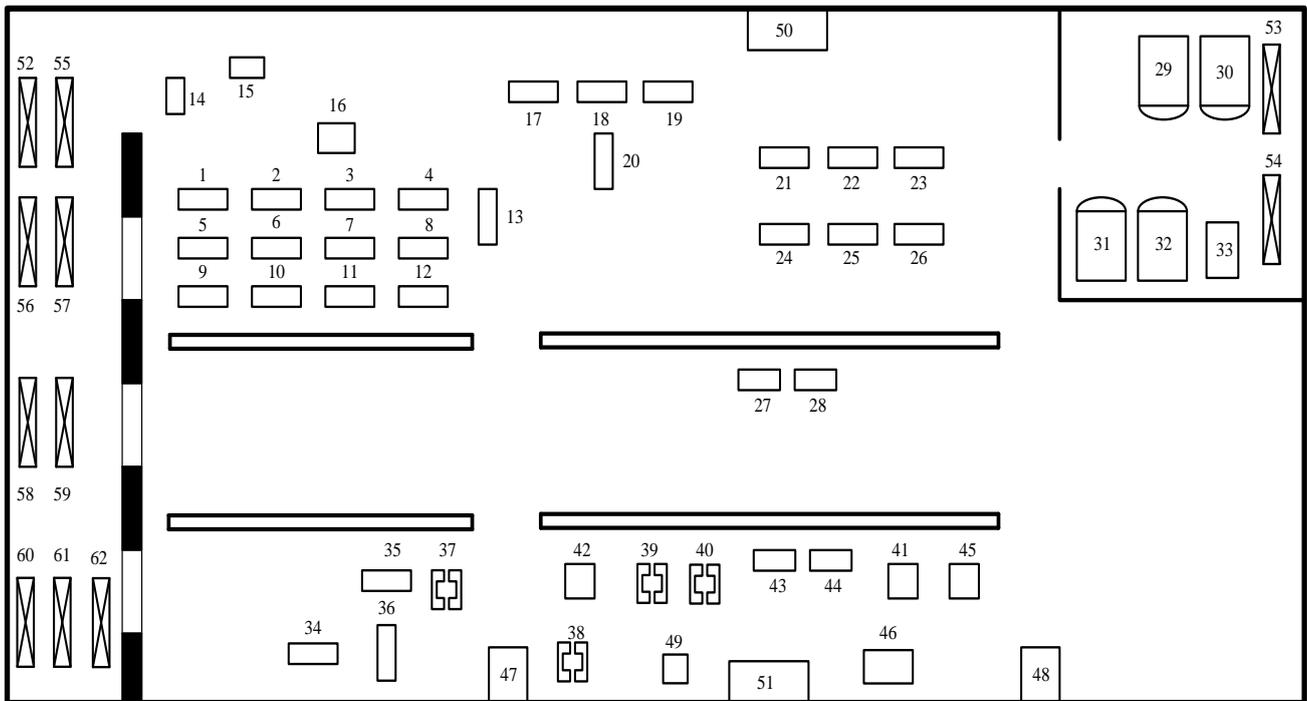


Figure 1.2 - General layout of the transformer manufactory

Table 1.2 - Information on electrical loads of the transformer manufactory

№	Name	P, kw
1	Screw-cutting lathe with CNC	15
2-5	Screw-cutting lathe	10
6-8	Vertical Drilling Machine	4,5
9-11	Radial Drilling Machine	8
12	Vertical Milling Machine	17
13	Horizontal milling machine	12
14	Lakwalts	3
15	Press eccentric	4
16	Machine for milling cardboard rings	7,5
17-26	Horizontal winding machine	17
27	Transformer for soldering copper busbars, PV = 40%	100
28	Tubing bath	40
29-32	Electric furnace for drying windings	168
33	Telpher	20
34,35	Cleaning installation	13
36	Installation for heating transformer oil	120
37-40	Scaffolding mechanical	10
41,42	Vacuum oven	55
43,44	Transformer for soldering copper busbars, PV = 40%	76
45	Pump	37
46	The stand for magnetic circuit assembly	17
47,48	Mechanical trolley	10
49	Welding converter, PV = 40%	15
50,51	Ventilation installation	55
52-54	The crane-beam, PV = 25%	10
55	The crane-beam, PV = 50%	71,5
56-59	The crane-beam, PV = 50%	35,2
60,61	The crane-beam, PV = 50%	142
62	The crane-beam, PV = 50%	187

## **2. Calculations and analytics.**

### **2.1. Determination of the design electric load of the transformer manufactory.**

The correct definition of the expected electrical loads is the basis for a rational solution of the whole complex of technological issues in the design of the power supply to the enterprise.

Since 1993, the main and mandatory normative document for determining the electrical loads of industrial enterprises is [9], based on a modified statistical method. This method has allowed to avoid significant overstating of the design load due to the correction of the average value of the group load. The instructions, according to the calculation, determine the procedure for calculating electrical loads by the method of the calculated active power factor.

The calculated active power  $P_p$  is the power corresponding to such unchanged current load  $I_p$ , which is equivalent to the actual time-varying load for the largest possible thermal effect on the power supply system element.

The design power factor  $K_p$  is the ratio of the calculated active power  $P$  to the value of the  $K_i R_n$  group of electrical receivers.

Calculation of electric loads of electrical receivers with voltage up to 1 kV is carried out according to the form F636-92 and is made for each power node (distribution point, distributive or trunk busbar trunking, shop transformer substation), as well as in the manufactory and the hull as a whole.

## 2.2. Sequence of calculation using the calculated power factor.

The initial data for the calculation (Graphs 1 - 6). Graphs (1-4) are filled on the basis of the received design task (Graphs 5, 6) - according to the reference materials, all electric receivers are grouped according to characteristic categories with the same coefficients of use of  $K_i$  and reactive power  $\text{tg}\varphi$  ( $\cos\varphi$ ). If there are interval values of  $K_i$  in the reference materials,  $K_i$  should take the greatest value for the calculation. In each line, electric receivers of the same power are indicated. At the same time, the backup electric receivers are not taken into account in the calculation, and the rated power of the motors with a short-time operation is not applied to the long-term operation ( $P_V = 100\%$ ).

Next, for each characteristic group of EPs in graphs 7 and 8, respectively, the values of  $K_I \cdot P$  and  $K_I \cdot P \cdot \text{tg}\varphi$  are written line by line. In the final line, the sums of these quantities are determined:

$$\sum K_I \cdot P \quad \text{and} \quad \sum K_I \cdot P \cdot \text{tg}\varphi$$

The weighted average utilization factor of a group for a given power node is determined from the formula:

$$K_{I.GR.} = \frac{\sum K_I \cdot P}{\sum P}$$

The value of  $K_{I.GR.}$  is entered in column 5 of the final line.

For the subsequent determination of the effective number of electric receiver  $n_e$  in graph 9, for each characteristic group of electric receiver of the same power  $n \cdot p^2$  are row-by-line and their total value is determined in the final row  $\sum n \cdot p^2$ .

An effective number of electric receiver is a number of uniform in the operating mode of the EP of the same power, which determines the same values of the design load as the group of different power electric receiver.

The effective number of electric receiver is determined by the formula:

$$n_e = \frac{(\sum P)^2}{\sum P^2 \cdot n}$$

The value  $ne$  found by the formula is rounded to the nearest smaller integer.

The calculated active power of power supplies connected to the power supply node of voltage up to 1000 V (column 12) is determined by the formula:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_l \cdot P$$

The design reactive power of the voltage of up to 1000 V connected to the power supply node (column 13) is determined as follows. For supply networks with voltages up to 1000 V depending on  $ne$ :

$$n_e \leq 10, Q_{p=1,1} = \sum K_l \cdot P \cdot \text{tg}\varphi, \text{ kVar};$$

$$n_e > 10, Q_p = \sum K_l \cdot P \cdot \text{tg}\varphi, \text{ kVar};$$

The total design capacity (column 14) is determined by the formula:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ kVA}$$

The power supply of the transformer shop will be carried out according to the scheme shown in Figure 2.2.1.

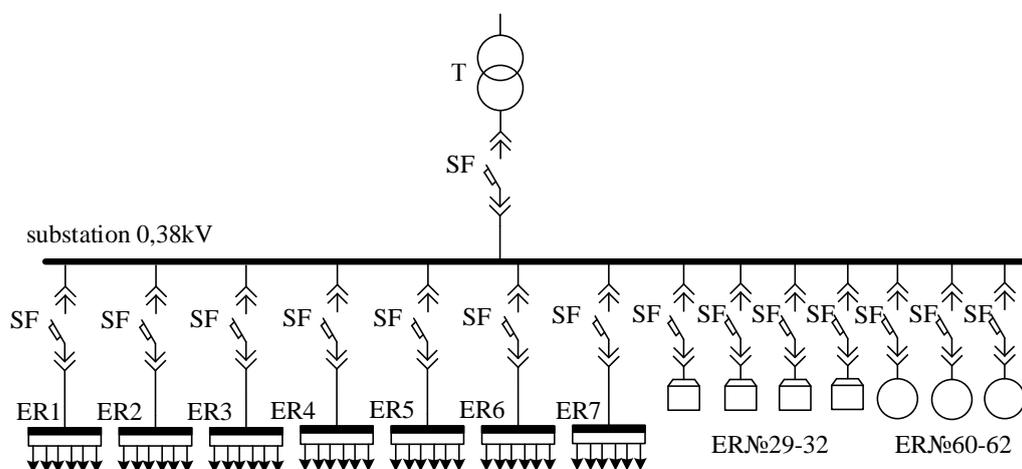


Figure 2.2.1 - Radial scheme of power supply of the transformer factory

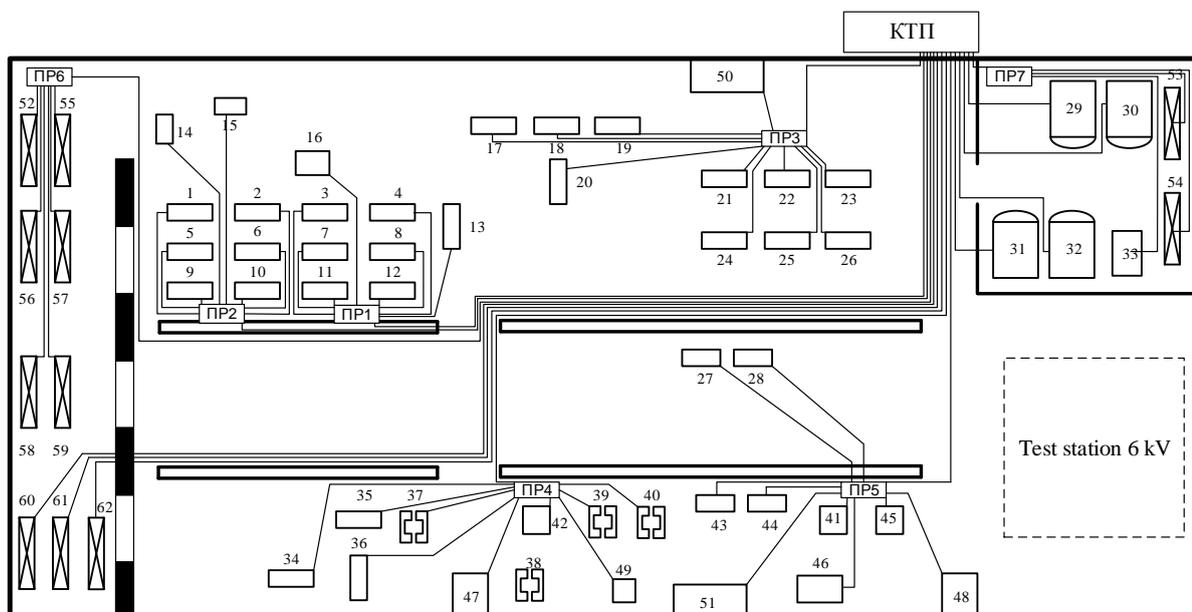


Figure 2.2.2 - Power supply diagram of the transformer factory

The most electric receiver was distributed at distribution points. The most powerful electric receiver was connected directly to the switchgear (SW) of the KTP.

In PR1 includes lathe-screw-cutting machines, vertical drilling, radial drilling, horizontal drilling machines, with and. Based on this, we can combine all the machines into a group and subsequently call them as different machines. The same will apply to other PRs, in which there are homogeneous modes of operation of the electric receiver.

The values of CI and  $\cos\varphi$ , which are necessary for the calculation of electrical loads, are given in Table 2.2.1.

Table 2.2.1- Reference data for the transformer factory

Name	$K_I$	$\cos(\varphi)$
Screw-cutting lathe with CNC	0,6	0,7
Screw-cutting lathe	0,14	0,5
Vertical Drilling Machine	0,14	0,5
Radial Drilling Machine	0,14	0,5
Vertical Milling Machine	0,14	0,5
Horizontal milling machine	0,14	0,5
Lakwalts	0,25	0,65
Press eccentric	0,25	0,65
Machine for milling cardboard rings	0,14	0,5
Horizontal winding machine	0,14	0,5
Transformer for soldering copper busbars, PV = 40%	0,5	0,5
Tubing bath	0,35	0,7
Electric furnace for drying windings	0,8	0,95

Extension Table 2.2.1

Telpher	0,2	0,55
Cleaning installation	0,24	0,65
Installation for heating transformer oil	0,75	0,95
Scaffolding mechanical	0,3	0,7
Vacuum oven	0,75	0,95
Transformer for soldering copper busbars, PV = 40%	0,5	0,5
Pump	0,7	0,8
The stand for magnetic circuit assembly	0,4	0,65
Mechanical trolley	0,1	0,5
Welding converter, PV = 40%	0,5	0,5
Ventilation installation	0,6	0,75
The crane-beam, PV = 25%	0,06	0,45
The crane-beam, PV = 50%	0,1	0,45
The crane-beam, PV = 50%	0,1	0,45
The crane-beam, PV = 50%	0,1	0,45
The crane-beam, PV = 50%	0,1	0,45

Table 2.2.2- Calculation of loads

Initial data						Calculated values				Rated power and current					
According to the task of the technologists				According to reference data											
Name	Number of electric receivers	Installed power, kW		Coefficient of use K <sub>И</sub>	Reactive power factors cos(φ)/tg(φ)	K <sub>i</sub> ·P	K <sub>i</sub> ·P·tg(φ)	n·p <sup>2</sup>	Effective number	Coefficient of design load, K <sub>p</sub> K <sub>p</sub>	P <sub>p</sub> =K <sub>p</sub> ·∑K <sub>i</sub> ·P kW	Q <sub>p</sub> =1,1·K <sub>i</sub> ·P·tg(φ) при ne<10 Q <sub>p</sub> =K <sub>i</sub> ·P·tg(φ) при ne>10 kVar	S <sub>p</sub> = √(P <sub>p</sub> <sup>2</sup> + Q <sub>p</sub> <sup>2</sup> ) kVA	I <sub>p</sub> = $\frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}$ A	
		One	complete												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<b>station 1</b>															
Machine tools different	2	10	20	0,14	0,5/1,73	2,8	4,84	200							
	2	4,5	9	0,14	0,5/1,73	1,26	2,18	40,5							
	1	8	8	0,14	0,5/1,73	1,12	1,94	64							
	1	17	17	0,14	0,5/1,73	2,38	4,12	289							
	1	12	12	0,14	0,5/1,73	1,68	2,91	144							
	1	7,5	7,5	0,14	0,5/1,73	1,05	1,82	56,25							
<b>result</b>	8		73,5	0,14		10,29	17,81	793,75	6	1,11	11,42	19,59	22,68	34,46	
<b>station 2</b>															
Machine tools different	2	10	20	0,14	0,5/1,73	2,8	48,44	200							

Extension Table 2.2.2

	1	4,5	4,5	0,14	0,5/1,73	0,63	1,09	20,25						
	2	8	16	0,14	0,5/1,73	2,24	3,88	128						
Lakwalts	1	3	3	0,25	0,65/1,17	0,75	0,88	9						
Press eccentric	1	4	4	0,25	0,65/1,17	1	1,17	16						
CNC machine	1	15	15	0,6	0,7/1,02	9	10,8	225						
<b>result</b>	8		62,5	0,26		16,42	66,26	598,25	6	0,95	15,6	72,89	74,54	113,25
<b>station 3</b>														
Horizontal winding machines	10	17	170	0,14	0,5/1,73	23,8	41,17	2890						
Ventilation installation	1	55	55	0,6	0,75/0,88	33	29,04	3025						
<b>result</b>	11		225	0,25		56,8	70,21	5915	8	0,9	51,12	77,23	92,62	140,72
<b>station 4</b>														
Cleaning installation	2	13	26	0,24	0,65/1,17	6,24	7,3	338						
Scaffolding mechanical	4	10	40	0,3	0,7/1,02	12	12,24	400						
Mechanical trolley	1	10	10	0,1	0,5/1,73	1	1,73	100						
Welding converter, PV = 40%	1	15	15	0,5	0,5/1,73	7,5	12,98	225						
Installation for heating transformer oil	1	120	120	0,75	0,95/0,33	90	29,7	14400						
Vacuum oven	1	55	55	0,75	0,95/0,33	41,25	13,61	3025						
<b>result</b>	10		266	0,59		157,99	77,56	18488	3	1,1	173,79	85,32	193,60	294,14
<b>station 5</b>														
Transformer for soldering copper busbars, PV = 40%	2	76	152	0,5	0,5/1,73	76	131,48	11552						
The stand for magnetic circuit assembly	1	17	17	0,4	0,65/1,17	6,8	7,96	289						
Mechanical trolley	1	10	10	0,1	0,5/1,73	1	1,73	100						

Extension Table 2.2.2

Transformer for soldering copper busbars, PV = 40%	1	100	100	0,5	0,5/1,73	50	86,5	10000						
Tubing bath	1	40	40	0,35	0,7/1,02	14	14,28	1600						
Vacuum oven	1	55	55	0,75	0,95/0,33	41,25	13,61	3025						
Pump	1	37	37	0,7	0,8/0,75	25,9	19,43	1369						
Ventilation installation	1	55	55	0,6	0,75/0,88	33	29,04	3025						
<b>result</b>	9		377	0,62		233,95	304,03	30960	4	0,99	231,61	334,73	407,05	618,45
<b>station 6</b>														
The crane-beam, PV = 25%	1	10	10	0,06	0,45/1,99	0,6	1,19	100						
Crane beams, PV = 50%	1	71,5	71,50	0,1	0,45/1,99	7,15	14,23	5112,25						
	4	35,2	140,80	0,1	0,45/1,99	14,08	24,36	4956,16						
<b>result</b>	6		222,3	0,1		21,83	39,78	10168,41	4	2,28	49,77	43,76	66,27	100,69
<b>station 7</b>														
The crane-beam, PV = 25%	2	10	20	0,06	0,45/1,99	1,2	2,39	200						
Telpher	1	20	20	0,2	0,55/1,52	4	6,08	400						
<b>result</b>	3		40	0,13		5,2	8,47	600	2	4,23	21,99	9,32	23,88	36,28
<b>at low voltage</b>														
Electric furnaces for drying windings	4	168	672	0,8	0,95/0,33	537,6	177,41	112896			537,6	177,41		
Crane beams, PV = 50%	2	142	284	0,1	0,45/1,99	28,4	56,52	40328			28,4	56,52		
	1	187	187	0,1	0,45/1,99	18,7	37,21	34969			18,7	37,21		
<b>result at low voltage</b>	7		1143	0,51		584,7	271,14	188193			543,77	298,25	620,32	942,48
<b>All result</b>	62	3-187	2409,30	0,45		1086,58	855,26		22	0,85	923,59	855,26	1258,76	1912,49

### 2.3. Determination of the design load of the enterprise as a whole.

The design load (active and reactive) of the power receivers of the workshops is determined from the expressions:

$$P_p = K_c \cdot P ;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi ,$$

$P$  - total installed capacity of all shop receivers;

$K_c$  - coefficient of demand, taken on reference data;

$\operatorname{tg} \phi$  - is taken from the corresponding value of the power factor.

Example calculation:

We will calculate for the Engineering manufactory:

$$P_p = K_c \cdot P = 0,4 \cdot 675 = 270 \text{ kW} ;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi = 270 \cdot 0,75 = 202,5 \text{ kVar} .$$

The area of the engineering department is equal to 1296 m<sup>2</sup>, as the lighting will be used lamps of the type LED, the specific lighting from the lamps is:, we find the nominal power of the lighting load

$$P_o = F \cdot P_o = \frac{1296 \cdot 3,6}{1000} = 4,67 \text{ kW}$$

The demand factor for the engineering department is  $K_{c.o.} = 0,9$

Then the calculated power of the lighting load will be found by the formula:

$$P_o = K_{c.o.} \cdot P_o = 4,67 \cdot 0,9 = 4,20 \text{ kW}$$

Total design load of the manufactory:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_o)^2 + (Q_p)^2} = 340,87 \text{ kVA}$$