

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Институт «Энергетики и машиностроения»

Кафедра «Энергетика»

Еламанов Дастан Кайратулы

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема «Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС завода по  
производству огнеупоров»

6B07101-«Энергетика»

Алматы 2023



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

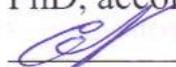
Институт «Энергетики и машиностроения»

Кафедра «Энергетика»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
«Энергетика»

PhD, ассоц. профессор

 Е.А. Сарсенбаев

«16» 01 2023г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся: Еламанов Дастан Кайратулы

Тема: «Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС завода по производству огнеупоров»

Утверждена приказом проректора университета № 434-б «23» ноября 2022 г.

Срок сдачи законченной работы «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023г.

Исходные данные к дипломной работе: Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы неограниченной мощности, на которой установлены два параллельно работающих трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ. Мощность кз. на стороне 115 кВ равна 880 МВА. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 5,5 км. Завод работает в две смены. Электрические нагрузки по цехам завода даны в таблице 1.

Краткое содержание дипломной работы: а) Основной расчет; расчет нагрузок и выбор марок и типов оборудования; б) Техничко-экономический расчет; выбор эффективного варианта внешнего электроснабжения; в) Специальная часть; выбор целесообразного варианта молниезащиты.

Перечень графического материала: представлены 17 слайдов презентации работы

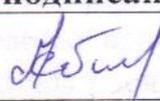
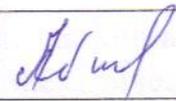
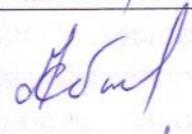
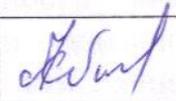
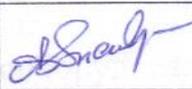
Рекомендуемая основная литература: из 11 наименований

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

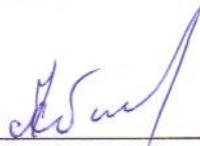
Наименования разделов, перечень рассматриваемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Основная часть	17.04.2023	нет
Технико-экономическая часть	25.04.2023	нет
Специальная часть	5.05.2023	нет

**Подписи**

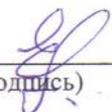
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Р. Ш. Абитаева, магистр, старший преподаватель		
Технико-экономическая часть	Р. Ш. Абитаева, магистр, старший преподаватель	20.05.2023	
Специальная часть	Р. Ш. Абитаева, магистр, старший преподаватель	20.05.2023	
Нормоконтроль	А. О. Бердибеков, магистр, старший преподаватель	30.05.2023	

Научный руководитель

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) Р. Ш. Абитаева

Задание принял к исполнению обучающийся

  
\_\_\_\_\_  
(подпись) Д.К. Еламанов

Дата

«18» 01 2023 г.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Еламанов Дастан Кайратулы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС завода по производству огнеупоров

**Научный руководитель:** Рахимаш Абитаева

**Коэффициент Подобия 1:** 22.4

**Коэффициент Подобия 2:** 6.8

**Микропробелы:** 11

**Знаки из других алфавитов:** 186

**Интервалы:** 26

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

2023-06-01

Дата

Заведующий кафедрой Энергетики  
Сарсенбаев Е.А.  


## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Еламанов Дастан Кайратулы **Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС завода по производству огнеупоров

**Научный руководитель:** Рахимаш Абитаева

**Коэффициент Подобия 1:** 22.4

**Коэффициент Подобия 2:** 6.8

**Микропробелы:** 11

**Знаки из других алфавитов:** 186

**Интервалы:** 26

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

2023-06-01

Дата

Абитаева Р.М.  
проверяющий эксперт

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

**ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

**на дипломную работу**

(наименование вида работы)

**Еламанов Дастан Кайратулы**

(Ф.И.О. обучающейся)

**6В07101 – «Энергетика»**

(шифр и наименование специальности)

Тема: **«Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС  
завода по производству огнеупоров»**

Студент Еламанов Дастан в своей дипломной работе провел исследование системы энергоснабжения завода по производству огнеупоров, а также изучил влияние атмосферных перенапряжений на систему электроснабжения этого завода. В ходе исследования Еламанов Д.К. произвел расчет электрических нагрузок и выбрал соответствующее электроэнергетическое оборудование.

В специальной части работы были рассмотрены причины возникновения молний, а также даны рекомендации по защите предприятия. Были рассмотрены два варианта молниезащиты, и был выбран наиболее целесообразный молниеотвод. Были изучены способы защиты от атмосферных перенапряжений и устройства, используемые для снижения влияния молнии на систему.

Еламанов Д. продемонстрировал хороший уровень теоретической подготовки и оперативности при выполнении дипломной работы. Он проявил усердие в работе с расчетами и старательно решал поставленные задачи, показывая организованность и трудолюбие.

Дипломная работа студента на тему "Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС завода по производству огнеупоров" выполнена в полном объеме. В работе полностью раскрыта тема, однако были допущены ошибки в выборе вариантов молниеотводов. Ошибки были замечены студентом и исправлены.

В целом, дипломная работа Еламанова Дастана Кайратулы на тему «Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС завода по производству огнеупоров» заслуживает оценки «хорошо» (90 баллов), а сам студент присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе 6В07101 - «Энергетика».

**Научный руководитель**

магистр, ст.преподаватель

кафедры «Энергетика»

Р.Ш. Абитаева

(подпись)

«02» 06 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

**РЕЦЕНЗИЯ**

**на дипломную работу**

(наименование вида работы)

**Еламанов Дастан Кайратулы**

(Ф.И.О. обучающегося)

**6В07101 - Энергетика**

(шифр и наименование специальности)

На тему: **«Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС  
завода по производству огнеупоров»**

В представленной дипломной работе осуществляется проектирование системы электроснабжения завода, специализирующегося на производстве огнеупорных материалов. Основные этапы работы включают в себя расчет электрических нагрузок для каждого цеха, определение необходимого числа трансформаторов и их распределение по трансформаторным подстанциям, а также проведение расчетов потерь электроэнергии и выбора защитного оборудования. В рамках экономической части работы была осуществлена оценка эффективности внешнего электроснабжения завода.

В специальной части было исследовано электромагнитное влияние молнии на систему электроснабжения, что, в свою очередь, является очень актуально. Так как влияние атмосферных перенапряжений серьезная проблема как для электрических сетей, так и для электроустановок.

**Замечания к работе**

Следует отметить, что в процессе были обнаружены некоторые ошибки в выборе выключателей. В целом, дипломная работа выполнена в полном соответствии с требованиями, тема дипломной работы соответствует.

**Оценка работы**

Дипломная работа Еламанова Дастана Кайратулы заслуживает оценки «отлично» (90 баллов), а сам студент присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе 6В07101 – «Энергетика».



Главный энергетик ТОО «Консолидированная  
строительная горнорудная компания»

Е.А. Жолдыбеков

(подпись)

«*ВТ*» *Жолдыбеков* 2023 г.

## **АҢДАТПА**

Дипломдық жұмыста компанияның электр сапары жүйесінің негізгі сұрақтары өңделіп, заводтың электрлік жүктерінің есептері жүргізілді. ГПП және цехтердің құрылым мүшелерінің саны мен күші таңдалып, олар заводтың өндіру мүшелерін қамтамасыз ететін электр энергиямен қамтылды. Электр сапардың қауіпсіздік және сенімділігіне, жарық қысымша және ұтымдылықты қорғауға өзек түсінік берілді, оның ішінде қысқартулар мен жоғары толқындарға қарсы қорғалу керек.

Сабақ станцияларының толқын волналарынан қорғау сұрақтары толықтыра көрсетілді. Сабақ станцияларының шомылу қорғауын есептеу және таңдау әдістері көрсетілді.

## **АННОТАЦИЯ**

В дипломной работе были изучены основные аспекты, связанные с системой электроснабжения предприятия. Проведены расчеты электрических нагрузок завода и определено необходимое количество и мощность силовых трансформаторов для главной подстанции и цеховых трансформаторов, обеспечивающих электроэнергией производственные мощности завода. Особое внимание было уделено вопросам безопасности и надежности электроснабжения. Рассмотрены меры защиты от коротких замыканий и перенапряжений, чтобы обеспечить стабильную работу системы.

Более подробно рассмотрены вопросы защиты электрооборудования подстанций от волн перенапряжений. Приведены различные способы расчета и выбора молниезащиты подстанций.

## **ANNOTATION**

The diploma thesis examined the main aspects related to the power supply system of the enterprise. Calculations of the electrical loads of the plant were conducted, and the required number and power of power transformers for the main substation and workshop transformers, which supply power to the production capacities of the plant, were determined. Special attention was given to the safety and reliability of the power supply. Measures were considered to protect against short circuits and overvoltages in order to ensure the stable operation of the system.

The issues of protecting substation electrical equipment from voltage surges are discussed in more detail, and various methods for calculating and selecting lightning protection for substations are provided.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
1 Расчет электрических нагрузок предприятий	3
1.1 Сведения к дипломной работе	3
2 Расчет электрических нагрузок	4
2.1. Расчет электрических нагрузок завода по производству огнеупоров	4
2.2 Расчет осветительной нагрузки	5
2.3 Расчет картограммы электрических нагрузок	5
2.4 Определение числа цеховых трансформаторов и компенсации реактивной мощности напряжением 0,4 кВ	10
2.5 Определение в блоках ЦТП потерь мощности	14
2.6 Вычисление компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП	14
2.7 Вычисление низковольтной и высоковольтной нагрузки предприятия	15
3 Сравнение технико-экономическое вариантов схем внешнего электроснабжение	18
3.1 Расчет технико-экономический первого варианта электроснабжения завода	18
3.2 Расчет технико-экономический второго варианта электроснабжения завода	22
4 Расчет токов КЗ	28
4.1 Вычисление токов КЗ $I_{кз}$ ( $U= 10$ кВ) с учетом подпитки от СД	28
5 Подбор оборудования	30
5.1 Подбор выключателей	33
5.2 Подбор трансформаторов тока	36
5.3 Подбор трансформаторов напряжения	37
6 Электромагнитные влияния молнии на СЭС	40
6.1 Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС Завода по производству огнеупоров	45
6.2 Расчет молниезащиты	50
Заключение	60
Список использованной литературы	62
Приложение	63

## ВВЕДЕНИЕ

Электроснабжение играет важную роль в работе любого предприятия. Оно обеспечивает функционирование всех систем и оборудования, а также гарантирует безопасность технологического процесса. Поэтому расчет и проектирование электроснабжения являются одними из ключевых аспектов при планировании и строительстве предприятий.

В рамках дипломной работы будет рассмотрена проблема расчета и проектирования электроснабжения для завода, специализирующегося на производстве огнеупоров. В работе будут представлены существующие стандарты и нормативные документы, регулирующие расчет и проектирование электроснабжения, а также принципы работы электроснабжающих систем.

Будут предложены варианты размещения электрооборудования и прокладки электропроводки, а также будут рассчитаны технические характеристики оборудования и затраты на его приобретение.

Точное определение электрических нагрузок является основой для решения технико-экономических вопросов при проектировке электроснабжения современных промышленных предприятий. Определение электрических нагрузок является начальным этапом проектирования любой системы электроснабжения. Эти значения помогают определить выбор всех компонентов и технико-экономических показателей проектируемой системы электроснабжения. Правильная оценка ожидаемых нагрузок влияет на такие показатели, как капитальные затраты, потери электроэнергии и эксплуатационные расходы.

Технико-экономические расчеты необходимы для определения оптимального варианта внешнего электроснабжения, параметров электрической сети и ее элементов. Важно также проанализировать все технико-экономические показатели, чтобы рассмотреть все возможные варианты и выбрать наилучший из них. После определения схемы электроснабжения и ее параметров, выбор соответствующего электрооборудования, кабелей и проводов, следует провести расчет молниезащиты, который является основной темой данной дипломной работы.

Молниезащита подстанций завода является важным аспектом обеспечения безопасности и надежности электроснабжения. Она предназначена для защиты оборудования от разрушительных воздействий молнии и электростатических разрядов. Основными элементами молниезащиты являются ограждающая проводящая сеть (ОПН) и разрядники, которые классифицируются в зависимости от их назначения и параметров работы.

Наиболее распространенными материалами молниезащиты являются провода, кабели, заземляющие устройства и специальные гальванические элементы. Кроме того, для защиты электронной техники и других чувствительных устройств могут применяться различные дополнительные меры, такие как устройства сглаживания импульсов и фильтры.

# 1 Расчет электрических нагрузок предприятий

## 1.1 Сведения к дипломной работе

На заводе для питания используется подстанция энергосистемы с неограниченной мощностью, на которой установлены два параллельно работающих трансформатора мощностью 40 МВА каждый. Эти трансформаторы имеют напряжение 115/37/10,5 кВ. Мощность кратковременной нагрузки на стороне 115 кВ составляет 880 МВА. Расстояние от подстанции энергосистемы до завода составляет 5,5 км. Работает завод в две смены.

**Таблица 1 – Электрические нагрузки по цехам завода**

№ цеха	Наименование	Количество ЭП, шт	Установленная мощность, кВт	
			одного ЭП, Рн	□ Рн
1	Шамотный цех №1	50	1-30	970
2	Шамотный цех №2	60	1-40	1520
3	Динасовый цех	70	1-50	1800
4	Смесительно-формовочный цех	70	1-50	2100
5	Цех вращающихся печей	10	10-100	650
6	Компрессорная:			
	а) 0,4кВ	10	10-20	120
	б) 10кВ	10	630	1260
7	Цех пылеулавливания, газоочистки	25	1-20	360
8	Цех подготовки глины	40	1-28	680
9	Цех помола шамота	50	20-50	1500
10	Склад сырья	15	5-20	120
11	Механический цех	40	1-25	570
12	Заготовительно-штамповочный цех	35	5-70	400
13	Лаборатория	20	1-20	250
14	Стекольный цех	40	1-40	850
15	Склад готовой продукции	10	1-10	60
16	Заводоуправление, столовая	50	1,1-40	560
17	Цех туннельных печей	40	10-50	1480

## 2 Расчет электрических нагрузок

### 2.1 Расчет электрических нагрузок завода по производству огнеупоров

Для расчета силовых нагрузок на шинах с напряжением 0,4 кВ используется метод "Упорядоченных диаграмм". Процедура расчета и заполнения таблицы следующая:

В графе 1 указываются номера цехов.

В графе 2 записывается наименование каждого цеха.

В графе 3 записывается количество электроприемников в каждом цехе.

В графе 4 записывается номинальная установленная мощность электроприемников, где указывается минимальная и максимальная мощность с помощью дефиса.

В графе 5 вычисляется суммарная установленная мощность электроприемников.

В графе 6 указывается число  $m$

$$m = \frac{P_{н.макс}}{P_{н.мин}} \quad (2.1)$$

В графе 7 коэффициент использования.

В графе 8 в числителе формулы записывается значение коэффициента мощности, а в знаменателе - соответствующий тангенс.

В графе 9 высчитываем за наиболее загруженную смену среднюю активную нагрузку

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{н} \quad (2.2)$$

$$Q = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.3)$$

В графе 11 эффективное число электроприемников

$$n_{э} = ((2 \cdot \sum P_{н}) / (P_{н \text{ макс}})) \quad (2.4)$$

Графа 12 коэффициент максимума ( $K_{н}$ ) определяется на основе эффективного числа электроприемников и коэффициента использования ( $K_{и}$ ).

Графа 13 указывается активная максимальная нагрузка от силовых электроприемников

$$P_{р} = K_{М} \cdot P_{см} \quad (2.5)$$

где,  $K_{М}$  - коэффициент максимума;

$P_{см}$  - средняя активная нагрузка за более загруженную смену.

Графа 14 записывается реактивная максимальная нагрузка от силовых электроприемников:

$$Q_{р} = Q_{см} \text{ при } n_{э} > 10. \quad (2.6)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{см} \text{ при } n_э \leq 10. \quad (2.7)$$

Графа 15 максимальная полная нагрузка

$$S_p = \sqrt{Q_{p0,4}^2 + P_{p0,4}^2}. \quad (2.8)$$

Расчетные данные силовых нагрузок по цехам предприятия напряжением на 0,4 кВ приведены в таблице «Расчет силовых нагрузок по цехам завода напряжением 0,4 кВ» (Таблица 2.1).

## 2.2 Расчет осветительной нагрузки

Обычно при определении нагрузки предприятия проводится расчет осветительной нагрузки с использованием удельной плотности осветительной нагрузки на квадратный метр производственных площадей и коэффициента спроса. Однако в данной дипломной работе осветительная нагрузка рассчитывается как 10% от рабочей мощности по каждому цеху.

## 2.3 Расчет картограммы электрических нагрузок

Для расчета электрических нагрузок в цехах завода с напряжением до 1 кВ используется метод упорядоченных диаграмм. Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок для каждого цеха представлены в таблице 2 "Расчет силовых нагрузок по цехам завода с напряжением 0,4 кВ"

Для построения картограммы нагрузки предприятия рассчитываем следующие величины:

$$R = \sqrt{\frac{P_p}{m \cdot \pi}} \quad (2.9)$$

$$\alpha = \frac{P_{p0}}{P_p} \cdot 360^\circ \quad (2.10)$$

где R – радиус круга;

$\alpha$  – угол сектора;

m – масштаб определения площади круга.

**Таблица 2.1 – Расчет силовых нагрузок по цехам завода напряжением 0,4 кВ**

№ цехов	Наименование цехов	Кол-во ЭП, n	Установленная мощность, кВт		m	Ки	cosφ /tgφ	Средние нагрузки		nэ	Км	Расчетные нагрузки		R/α
			Rнmin□ Rн max	□Rн				Pсм, кВт	Qсм, квар			Pр, кВт	Qр, квар	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Шамотный цех №1													4,02/ 33,5
	а) силовая	50	1-30	970	>3	0,4	0,7/1	388	388	50	1,13	438,4	388	
	б) осветительная							40,8	20,4		1	40,8	20,4	
	Итого											583,2	500,4	
2	Шамотный цех №2													5/23, 13
	а) силовая	60	1-40	1520	>3	0,4	0,7/1	608	608	60	1,12	680	608	
	б) осветительная							43,7	21,85		1	43,7	21,85	
	Итого											723,7	629,8 5	
3	Динасовый цех													6,04/ 21,44
	а) силовая	70	1-50	1800	>3	0,5	0,75/0,88	900	792	70	1,1	990	792	
	б) осветительная							58,97	29,49		1	58,97	29,49	
	Итого											1048, 97	821,4 9	
4	Смесительно-формовочный цех													5,83/ 32,4
	а) силовая	70	1-50	2100	>3	0,4	0,7/1	840	840	70	1,06	924	840	
	б) осветительная							83,2	41,6		1	83,2	41,6	
	Итого											1007, 2	881,6	
5	Цех вращающихся печей													3,79/ 8,72
	а) силовая	10	10-100	650	>3	0,6	0,88/0,54	390	210,6	10	1,2	390	210,6	
	б) осветительная							9,45	4,73		1	9,45	4,73	
	Итого											399,4 5	215,3 3	

продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	Компрессорная:													2,1/9, 06
	а) силовая	10	10-20	120	<3	0,6	0,85/0,6	72	43,2	10	1,2	120	90	
	б) осветительная							3,2	1,6		1	3,2	1,6	
	Итого											123,2	91,6	
7	Цех пылеулавливания газоочистки													2,46/ 8,81
	а) силовая	25	1-20	360	>3	0,46	0,7/1	165	165	25	1	165	165	
	б) осветительная							4,04	2,02		1	4,04	2,02	
	Итого											169,0 4	167,0 2	
8	Цех подготовки глины													3,39/ 7,02
	а) силовая	40	1-28	680	>3	0,4	0,75/0,88	272	239,36	40	1,15	312,8	239,6	
	б) осветительная							6,1	3,03		1	6,1	3,03	
	Итого											318,9	242,6 3	
9	Цех помола шамота													5,83/ 11,5
	а) силовая	50	20-50	1500	<3	0,55	0,8/0,75	825	618,75	50	1,12	924	618	
	б) осветительная							29,7	14,85		1	29,7	14,85	
	Итого											953,7	633,6	
10	Склад сырья													1,33/ 35,55
	а) силовая	15	5-20	120	>3	0,25	0,6/1,3	30	39	12	1,6	48	39	
	б) осветительная							4,74	2,37		1	4,74	2,37	
	Итого											52,74	41,37	
11	Механический цех													2,23/ 57,7
	а) силовая	40	1-25	570	>3	0,2	0,65/1,2	111	133,2	32	1,22	135,4 2	133,2	
	б) осветительная							21,736	10,868		1	21,73	10,86	
	Итого											157,1 56	144,0 68	

продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12	Заготовительно-штамповочный цех													2,32/ 20,38
	а) силовая	35	5-70	400	>3	0,2	0,6/1,3	80	104	11	1,82	146,6	104	
	б) осветительная							8,296	4,148		1	8,296	4,148	
	Итого											153,8 96	108,1 48	
13	Лаборатория													2,21/ 37,9
	а) силовая	20	1-20	250	>3	0,45	0,75/0,88	112,5	99	20	1,18	132,7 5	99	
	б) осветительная							13,995	6,998		1	13,99 5	6,998	
	Итого											146,7 45	105,9 98	
14	Стекольный цех													4,22/ 18,42
	а) силовая	40	1-40	850	>3	0,5	0,75/0,88	425	374	40	1,14	484,5	374	
	б) осветительная							24,8	12,4		1	24,8	12,4	
	Итого											509,3	396,4	
15	Склад готовой продукции													0,89/ 86,21
	а) силовая	10	1-10	60	>3	0,2	0,5/1,73	12	20,76	10	1,8	21,6	20,76	
	б) осветительная							5,173	2,587		1	5,173	2,587	
	Итого											26,77 3	23,34 7	
16	Заводоуправление, столовая													3,31/ 88,9
	а) силовая	50	1,1-40	560	>3	0,45	0,75/0,88	252	221,76	28	1,18	297,3 6	221,7 6	
	б) осветительная							73,485	36,74		1	73,48	36,74	
	Итого											370,8 45	258,5	

продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17	Цех туннельных печей													5,72/ 22,69
	а) силовая	40	10-50	1480	>3	0,6	0,9/0,48	888	426,24	45	1	888	426,24	
	б) осветительная							55,984	27,93		1	55,984	27,93	
	Итого											943,984	454,2	
	Освещение территории							115,86	57,93		1	115,86	57,93	
	Итого на шинах U=0.4кВ											7805,659	5801,411	

## 2.4 Определение числа цеховых трансформаторов и компенсации реактивной мощности напряжением 0,4 кВ

Для определения минимального числа цеховых трансформаторов одинаковой мощности, необходимых для питания наибольшей расчетной активной нагрузки, используется следующая математическая формула:

$$N_{T \min} = \left( \frac{P_{0,4}}{K_3 * S_{н.тр}} \right) + \Delta N_{и}, \quad (2.11)$$

где,  $P_{p0,4}$  - суммарная расчетная активная нагрузка;  
 $K_3$  — коэффициент загрузки трансформатора;  
 $\Delta N$  — добавка до ближайшего целого числа;  
 $S_{н.тр}$  - принятая номинальная мощность трансформатора, выбирается по удельной плотности нагрузок:

$$S_{уд} = \frac{S_{p0,4}, \text{ кВА}}{F_{цехов}, \text{ м}^2}, \quad (2.12)$$

$$S_{уд} = \frac{20530,463}{54045} = 0,37.$$

Так как  $S_{уд} > 0,3$  берём трансформатор  $S_{н} = 1000$  МВА

Тип трансформатора – ТМЗ-1000/6-10

$$S_{н} = 1000 \text{ МВА}$$

$$P_{xx} = 2,1 \text{ кВт}$$

$$P_{кз} = 11,6 \text{ кВт}$$

$$U_{кз} = 5,5\%$$

$$I_{xx} = 1,4\%$$

Целесообразное экономически число трансформаторов высчитывается по формуле:

$$N_{т.э} = N_{T.min} + m, \quad (2.13)$$

$$N_{т.э} = 10 + 1 = 11 \text{ тр.}$$

$$N_{T \min} = \left( \frac{7805}{0,8 * 1000} \right) + 0,24 = 10 \text{ шт.}$$

С использованием выбранного числа трансформаторов можно определить наибольшую реактивную мощность  $Q_1$ , которую следует передавать через эти трансформаторы в сеть с напряжением до 1 кВ. Расчет этой реактивной мощности выполняется по следующей формуле:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{т.э} * S_{н.тр} * K_3^2) - P_{р0,4}^2}, \quad (2.14)$$

$$Q_1 = \sqrt{(11 * 1000 * 0,8)^2 - 7805^2} = 4064,7 \text{ кВар.}$$

Из условия баланса реактивной мощности на шинах 0,4 кВ определяют величину  $Q_{нбк1}$

$$Q_{нбк1} = Q_{р0,4} - Q_1, \quad (2.15)$$

$$Q_{нбк1} = Q_{р0,4} - Q_1 = 5801 - 4064,7 = 1736 \text{ кВар.}$$

так как, составляющая  $Q_{нбк2}$  в большинстве случаев меньше 0, то расчет ведется по 1-й составляющей  $Q_{нбк1}$

Определяется мощность батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор К полученному числу подбирается ближайшее согласно каталога батарея конденсаторов.

$$Q_{нбк \text{ тп}} = \frac{Q_{нбк}}{N_{тэ}}. \quad (2.16)$$

$$Q_{нбк \text{ тп}} = \frac{1736}{11} \approx 200 \text{ кВар.}$$

Выбираю конденсатор УКМФ 71-0,4-200-25-У3  
 $Q=200 \text{ кВар}; I_n = 289 \text{ А.}$

На основе проведенных расчетов составляется таблица 2.2, которая отражает распределение низковольтной нагрузки по цеховым трансформаторным подстанциям (ТП). Цеховые ТП могут быть одно- или двухтрансформаторными. Цеха группируются в соответствии с их территориальным расположением с учетом их нагрузок и коэффициентов загрузки. В данном случае все предприятия относятся к 1-й и 2-й категориям, поэтому максимальное количество магистрально питаемых трансформаторных подстанций не должно превышать 5

**Таблица 2.2 - Распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП**

№ТП, $S_{н\ тп}$ , $Q_{н\бк\ тп}$	№ цеха	$P_{p0,4}$ , кВт	$Q_{p0,4}$ , кВар	$S_{p0,4}$ , кВА	$Kз'$
1	2	3	4	5	6
ТП 1 (2x1000)	1	583,2	500,4		
ТП 2 (2x1000)	2	724,7	629,85		
$\Sigma S_{н} = 4 \times 1000 = 4000$ кВА	3	1048,97	821,45		
$Q_{н\бк} = 4 \times 200 = 800$ кВар	5	399,45	215,5		
итого		2756,3	2167,2		
			800		
		2756,3	1367,2	3077	0,77
ТП 3 (2x1000)	4	1007	881,6		
ТП 4 (2x1000)	6	123,2	91,6		
$\Sigma S_{н} = 4 \times 1000 = 4000$ кВА	7	169,04	167,02		
$Q_{н\бк} = 4 \times 200 = 800$ кВар	8	318,3	242,6		
итого	9	953,3	633,6		
	10	52,74	41,37		
	11	157,156	144,068		
		2780,9	2197,1		
			800		
		2780,9	1397,1	3112	0,78
ТП 5 (1x1000)	12	153,89	108,15		
ТП 6 (2x1000)	13	146,74	105,99		
$\Sigma S_{н} = 3 \times 1000 = 3000$ кВА	14	509,8	396,4		
$Q_{н\бк} = 3 \times 200 = 600$ кВар	15	26,773	23,347		
итого	16	370,8445	258,5		
	17	943,984	454,2		
	осв. тер	115,86	57,93		
		2377,5	1474,4		
			600		
		2377,5	874,4	2533	0,8

## 2.5 Определение в блоках ЦТП потерь мощности

Определение расчетных активных и реактивных потерь мощностей.  
ТП1, ТП2:

$$\Delta P_{\text{тр}} = N * (\Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} * K_3^2), \quad (2.17)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = N * \left( \frac{I_{\text{xx}}}{100} * S_{\text{H}} + \frac{U_{\text{кз}}}{100} * S_{\text{H}} * K_3^2 \right), \quad (2.18)$$

$$\Delta P_{\text{тр}} = 4 * (2,1 + 11,6 * 0,77^2) = 35,9 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 4 * \left( \frac{1}{100} * 1000 + \frac{5,5}{100} * 1000 * 0,77^2 \right) = 339 \text{ кВар.}$$

ТП3, ТП4:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 4 * (2,1 + 11,6 * 0,78^2) = 36,6 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 4 * \left( \frac{1,4}{100} * 1000 + \frac{5,5}{100} * 1000 * 0,78^2 \right) = 189,8 \text{ кВар.}$$

ТП5, ТП6:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 3 * (2,1 + 11,6 * 0,8^2) = 28,6 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 3 * \left( \frac{1,4}{100} * 1000 + \frac{5,5}{100} * 1000 * 0,8^2 \right) = 147,6 \text{ кВар.}$$

$$\sum \Delta P_{\text{тр}} = 101,1 \text{ кВт.} \quad (2.19)$$

$$\sum \Delta Q_{\text{тр}} = 523,9 \text{ кВар.} \quad (2.20)$$

Результаты сведем в таблицу 2.3.

**Таблица 2.3 – Результаты расчета потерь мощности в блоках ЦТП**

№ ТП	$\Delta P$ , кВт	$\Delta Q$ , кВар
ТП1, ТП2	35,9	186,4
ТП3, ТП4	36,6	189,8
ТП5, ТП6	28,6	147,6
Итого $\Sigma$	101,1	523,9

По мощности двигателя по заданию, из справочника подбираются паспортные данные СД и его тип.

СД 6 кВ, n=10 шт,

Типоразмер

СДКП2-18-26-16УХЛ4

$$P_H = 800 \text{ кВт } \cos\varphi = 0,9 \text{ tg}\varphi = 0,48 \text{ K}_3 = 0,8$$

Определение расчёта активной, реактивной мощности для СД:

$$S_H = \frac{800}{0,9} = 888,8 \text{ кВА.} \quad (2.21)$$

$$P_{pСД} = N * \cos\varphi * S_H * K_3, \quad (2.22)$$

$$Q_{pСД} = N * \text{tg}\varphi * P_{pСД} * K_3, \quad (2.23)$$

$$P_{pСД} = 4 * 0,9 * 888,8 * 0,8 = 2559,74 \text{ кВт.}$$

$$Q_{pСД} = 4 * 0,48 * 2559,74 * 0,8 = 3931,76 \text{ кВар.}$$

## 2.6 Расчет компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП

Ниже представлена схема замещения  $Q_{нбк}$ , показанная на рисунке 2.1.

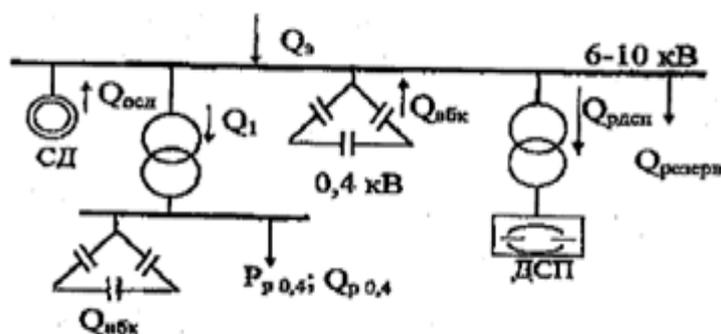


Рисунок 2.1 – Схема замещения к расчету  $Q_{нбк}$

Далее используется уравнение баланса реактивной мощности на шинах 6-10 кВ относительно  $Q_{вбк}$

$$Q_{вбк} = Q_{p0,4} + \sum \Delta Q_{тр} + Q_{рдсп} + \Delta Q_{трдсп} + Q_{рез} - Q_{э} - Q_{нбк} - \sum Q_{pСД}. \quad (2.24)$$

где  $Q_{э}$  - входная реактивная мощность, которую предприятие получает от энергосистемы, определяется как экономически оптимальная реактивная мощность, которую энергосистема может передать во время пиковой нагрузки.

Данная величина рассчитывается с использованием определенной формулы, учитывая различные параметры и условия.

$$Q_3 = 0,23 * (16192,468 + 196,32 + 2559,74 + 4920 + 50) = 5501,2 \text{ кВар.}$$

где,  $Q_{рез}$  - величина резерва реактивной мощности, высчитывается по формуле:

$$Q_{рез} = 0,15 * (12621,565 + 1076,78 + 3390 + 250) = 2600 \text{ кВар.} \quad (2.25)$$

$$Q_{вБК} = 12621,565 + 1076,78 + 3390 + 250 + 2600 - 5501,2 - 6000 - 3931,76 = 4505 \text{ кВар,} \quad (2.26)$$

$$Q_{вБК} = \frac{4550}{2} = 2252 \text{ кВар.} \quad (2.27)$$

Выбираю 2хУКРМ-6,3(10,5)-2700-1800+4\*225)УЗ.

$$Q_{нБК} = 2700 \text{ кВар} \quad \sum Q_{нБК} = 5400 \text{ кВар}$$

Число регулирования 1х2700

## 2.7 Расчет высоковольтной и низковольтной нагрузок предприятия

В таблице "Уточненный расчет нагрузок на предприятие" (таблица 2.4) представлен расчет силовой нагрузки на всё предприятие, включая как низковольтную, так и высоковольтную нагрузку, а также учет потерь, происходящих в трансформаторах цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП). Эта таблица дает более точную информацию о нагрузках, которые необходимы для обеспечения электроснабжения предприятия.

**Таблица 2.4 – Уточненный расчет нагрузок на предприятие**

№ТП, $S_{шт}$ , $Q_{НБК}$	№ цеха	$n$	$P_{n\ min} - P_{n\ max}$	$\square P_n$	$Ku$	Ср. мощность		$n_{э}$	$K_m$	Расчетные мощности			$K_3$
						$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар			$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП 1 (2x1000) ТП 2 (2x1000)	1	50	1-30	970		388	388						
	2	60	1-40	1520		608	608						
	3	70	1-50	1800		900	792						
	5	10	10-100	650		390	210,6						
		190	1-100	4940	0,48	2286	1998,6	99	1,1	2514 152,92	2198,4 229,39 800		
Силовая Освещение $Q_{нбк}$ Итого										2666,92	1627,7 9	3124	0,78
ТП 3 (2x1000) ТП 4 (2x1000)	4	70	1-50	2100		840	840						
	6	10	10-20	120		72	43,2						
	7	25	1-20	360		165	165						
	8	40	1-28	680		272	239,6						
	9	50	20-50	1500		825	618,75						
	10	15	5-20	120		30	39						
	11	40	1-25	370		111	133,2						
	250	1-50	5250	0,58	2315	2078,7	210	1,1	2546,5 152,7	2286,6 76,33 800			
Силовая Освещение $Q_{нбк}$ Итого										2699,2	1562,9 3	3119	0,77

продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП 5 (1x1000)	12	35	5-70	400		80	104						
ТП 6 (2x1000)	13	20	1-20	250		112,5	99						
	14	40	1-40	850		425	374						
	15	10	1-10	60		12	20,76						
	16	50	1,1-40	560		252	221,76						
	17	40	10-50	1480		888	426,24						
Силовая		195	1-70	3600	0,37	1769,5	1245,8	103	1,1	1946,45	1370,4		
Освещение										181,733	90,803		
Осв. тер										115,86	57,93		
Qнбк											600		
Итого										2244	919,1	2424,9	0,8
Итого на шинах 0,4кВ										7610,1	4109,8	8648,9	
Потери в трансф. - х										101,1	523,9		
Итого нагр.0,4кВ привед. к шинам 10кВ										7711,22	4633,7		
Синхронные двигатели: СД1	6	10	630	1260						5355	-2570		
Всего по заводу										13066,2	7203,7	14920,4	

### 3 Сравнение технико-экономическое вариантов схем внешнего электроснабжения

Для питания завода доступно подключение к подстанции энергосистемы с неограниченной мощностью. На этой подстанции установлены два параллельно работающих трансформатора мощностью 40 МВА и напряжением 115/37/10,5 кВ. Мощность короткого замыкания на стороне 115 кВ составляет 880 МВА. Расстояние между подстанцией энергосистемы и заводом составляет 5,5 км. Завод функционирует в две смены.

Для технико-экономического сравнения различных вариантов электроснабжения завода, рассмотрим два варианта:

- 1) Первый вариант - подключение к сети напряжением 110 кВ;
- 2) Второй вариант - подключение к сети напряжением 35 кВ.

#### 3.1 Расчет технико-экономический первого варианта электроснабжения завода

Первый вариант электроснабжения показан на рисунке 3.1.

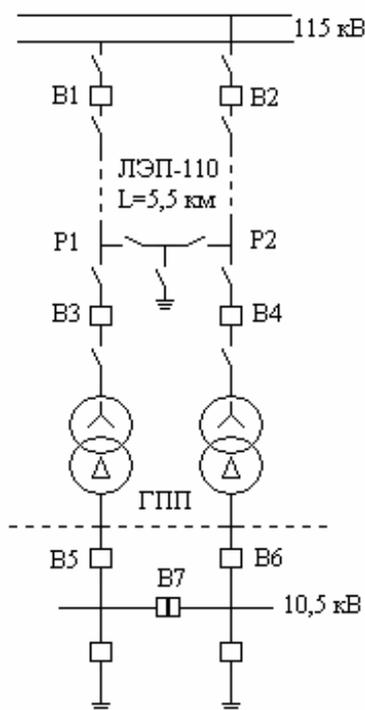


Рисунок 3.1 - Первый вариант схемы внешнего электроснабжения

Подбираем трансформаторы ГПП

$$S_{н.гпп} = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2}, \quad (3.1)$$

$$S_{н.гпп} = \sqrt{13066^2 + 3050^2} = 13417 \text{ МВА.}$$

Выбираем 2 трансформатора мощностью 10000 кВА:

$$K_3 = \frac{S_{р.гпп}}{2 \cdot S_{ном.тр}}, \quad (3.2)$$

$$K_3 = \frac{13417}{2 \cdot 10000} = 0,67 \leq 0,85.$$

Выбираем трансформатор и приводим паспортные данные трансформатора в таблице 3.1.

**Таблица 3.1 – Характеристики трансформатора**

Тип трансформатора	Напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение кз, %	Ток хх, %
	ВН	НН	хх	кз		
ТРДН-10000/110	115	11	14	58	10,5	0,9

Вычисляются потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{тр.гпп} = 2 \cdot (\Delta P_{хх} \cdot \Delta P_{кз} \cdot K_3^2), \quad (3.3)$$

$$\Delta P_{тр.гпп} = 2 \cdot (14 + 58 \cdot 0,67^2) = 80,1 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{тр.гпп} = 2 \cdot \left( \frac{I_x \cdot S_n}{100} + \frac{U_k \cdot S_n \cdot K_3^2}{100} \right), \quad (3.4)$$

$$\Delta Q_{тр.гпп} = 2 \cdot \left( \frac{0,9 \cdot 10000}{100} + \frac{10,5 \cdot 10000 \cdot 0,67^2}{100} \right) = 1123 \text{ квар.}$$

Определим потери электрической энергии в трансформаторах ГПП:

$$\Delta W_{т гпп} = 2 \cdot (\Delta P_{хх} \cdot T_{вкл} + 0,5 \cdot \tau \cdot \Delta P_{кз} + K^2) \text{ кВт ч,} \quad (3.5)$$

$$\Delta W_{т гпп} = 2 \cdot (14 \cdot 4000 + 58 \cdot 2405 \cdot 170 \cdot 0,67^2) = 340,7 \text{ кВт ч.}$$

где  $T_{вкл}$  – количество часов включения трехменной работы  $T_{вкл} = 6000$  ч;  
 $\tau$  – количество часов использования потерь максимума и зависит от количества часов использования максимума нагрузки:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad (3.6)$$

где,  $T_M = 4000$  ч. – число часов использования максимума.

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 * 8760 = 2405 \text{ ч.}$$

Подбираем сечение проводов ЛЭП 110 кВ: Определим мощность, проходящую по ЛЭП

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{тр.гпп}})^2 + Q_{\text{э}}^2}, \quad (3.7)$$

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(13066 + 80,1)^2 + 3050^2} = 13495 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{S_{\text{лэп}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot 2} = \frac{13495}{1,73 \cdot 115 \cdot 2} = 33,9 \text{ А.} \quad (3.8)$$

$$I_{\text{ав}} = I_p \cdot 2 = 67,8. \quad (3.9)$$

а) определим сечение по экономической плотности тока ( $j_{\text{э}}$ ):

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{33,9}{1,1} = 30,8. \quad (3.10)$$

где,  $j_{\text{эк}}=1,1 \text{ А/мм}^2$ - плотность тока для воздушных линий; принимаем стандартное ближайшее сечение  $F_{\text{э}}=70 \text{ мм}^2$ ,  $I_{\text{доп}}=256 \text{ А}$

Так как для ВЛ 110 кВ минимальное сечение  $70 \text{ мм}^2$ , то принимается провод марки АС-70,  $I_{\text{доп}}=256 \text{ А}$ .

б) на нагрев рабочим током:  $I_{\text{доп}} \text{ .пров.} > I_p$ , ( $256 \text{ А} > 33,9 \text{ А}$ ).

в) по аварийному режиму:  $1,3 * I_{\text{доп}} \text{ .пров.} > I_{\text{ав}}$ , ( $344,5 > 67,8 \text{ А}$ ).

Окончательно принимаем провод марки АС-70,  $I_{\text{доп}} = 256 \text{ А}$ . Определим потери электрической энергии в ЛЭП 110 кВ:

$$\Delta W_{\text{лэп 110}} = 3 * I^2 * R * \tau \text{ кВт ч,} \quad (3.11)$$

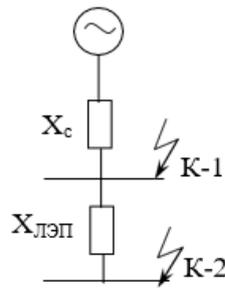
где  $R=r_0 * L$ , Ом;

$r_0 = 0,460 \text{ Ом / км}$ ; - удельное активное сопротивление АС-70.

$$\Delta W_{\text{лэп 110}} = 2 \cdot 3 \cdot 33,9^2 \cdot 2,53 \cdot 10^{-3} \cdot 2405 = 41,95 \text{ МВт}\cdot\text{ч.} \quad (3.12)$$

Выбор оборудования на  $U=110 \text{ кВ}$ .

Сперва до выбора аппаратов составляется схема замещения внешней системы электроснабжения (рисунок 3.2) и рассчитывается ток короткого замыкания.



**Рисунок 3.2 - Схема замещения ВСЭ.**

Вычисляем базисные токи:

$$I_6 = \frac{S_6}{1,73 \cdot U_6}, \quad (3.13)$$

$$I_6 = \frac{1000}{1,73 \cdot 115} = 5,03 \text{ кА}$$

Вычисляем сопротивления системы:

$$X_c = \frac{S_6}{S_{кз}} = \frac{1000}{1100} = 0,9 \text{ о. е.} \quad (3.14)$$

Вычисляем сопротивление ЛЭП:

$$X_{лэп} = \frac{x_0 \cdot L \cdot S_6}{U_{ср}^2} = \frac{0,34 \cdot 5,5 \cdot 1000}{115^2} = 0,14 \text{ о. е.} \quad (3.15)$$

Вычисляем ток короткого замыкания в точке К-1:

$$I_{к-1} = \frac{I_6}{X_c + X_{лэп}} = \frac{5,03}{1,14} = 4,4 \text{ кА.} \quad (3.16)$$

Вычисляем ток короткого замыкания в точке К-2:

$$I_{к-2} = \frac{I_6}{X_c + X_{лэп} + X_{тр}} = \frac{5,03}{1,28} = 3,93 \text{ кА.} \quad (3.17)$$

Вычисляем ударный ток в точке К-1:

$$i_{уд} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к-1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,4 = 11,2 \text{ кА.} \quad (3.18)$$

Вычисляем ударный ток в точке К-2:

$$i_{уд} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к-2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,93 = 9,97 \text{ кА.} \quad (3.19)$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{к-1} = \sqrt{3} \cdot I_{к-1} \cdot U_H, \quad (3.20)$$

$$S_{к-1} = 1,73 \cdot 115 \cdot 4,97 = 989,95 \text{ МВА.}$$

$$S_{к-1} = 1,73 \cdot 15,1 \cdot 10,5 = 274,61 \text{ МВА.}$$

После расчета токов короткого замыкания (КЗ) мы будем выбирать выключатель ЛТВ 145 для использования с выключателями В1, В2, В3, В4. Характеристики выключателя ЛТВ 145 можно найти в таблице 3.2.

**Таблица 3.2 – Характеристики выключателя ЛТВ 145**

Параметры	$U_n$	$I_n$ кА	$I_{отк}$ кА	$I_{дин}$ кА
	110	2000	40	102

$$I_{ном} \geq I_{ав} \quad 2000 \geq 67,8 \text{ А.} \quad (3.22)$$

$$I_{откл} \geq I_{кз} \quad 40 \text{ кА} \geq 4,4 \text{ кА.} \quad (3.23)$$

$$I_{дин} \geq i_{уд} \quad 102 \geq 9,97 \text{ кА.} \quad (3.24)$$

Выбираем разъединители типа РНД32-СК-110/1000 У1

$$U_{ном} \geq U_{раб}; \quad 110 \text{ кВ} \geq 110 \text{ кВ.}$$

$$I_{ном} \geq I_{ав}; \quad 1000 \text{ А} \geq 67,8 \text{ А.}$$

$$I_{дин.} \geq i_{уд}; \quad 31,5 \text{ кА} \geq 9,97 \text{ кА.}$$

$$I_{терм} \geq I_{кз}; \quad 31,5 \text{ кА} \geq 4,4 \text{ кА}$$

Найдем капитальные затраты для выбранного оборудования:

Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр.гпп} = 2 \cdot 165 = 330 \text{ млн.тг.} \quad (3.25)$$

Затраты на ЛЭП-110 кВ:

$$K_{лэп-110} = 2 \times K_{лэп} = 2 \cdot 17,3 = 34,6 \text{ млн.тг.}$$

Затраты на выключатель ВГП-110 У1:

$$K_{вгп} = 5 \cdot 17 = 85 \text{ млн.тг.} \quad (3.26)$$

### **3.2 Расчет технико-экономический второго варианта электроснабжения завода**

Выбираем трансформатор ТРДНС – 10000/35, паспортные данные которого приведены в таблице 3.3.

**Таблица 3.3 – Технические характеристики трансформатора**

Тип трансформатора	Напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение кз, %	Ток хх, %
	ВН	НН	хх	кз		
ТДНС-10000/35/10,5	35	10,5	12	60	8	0,75

Определим потери мощности в трансформаторах ГПП:

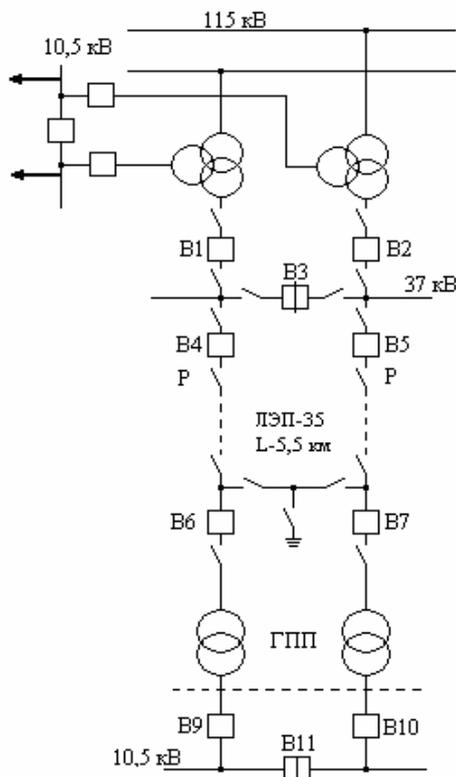
$$\Delta \Delta P_{\text{тр.гпп}} = 2 \cdot (\Delta P_{\text{хх}} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot K_3^2), \quad (3.27)$$

$$\Delta P_{\text{тр.гпп}} = 2 \cdot (12 + 60 \cdot 0,67^2) = 78 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{\text{тр.гпп}} = 2 \cdot \left( \frac{I_{\text{х}} \cdot S_{\text{н}}}{100} + \frac{U_{\text{к}} \cdot S_{\text{н}} \cdot K_3^2}{100} \right), \quad (3.28)$$

$$\Delta Q_{\text{тр.гпп}} = 2 \cdot \left( \frac{0,7 \cdot 10000}{100} + \frac{8 \cdot 10000 \cdot 0,67^2}{100} \right) = 860 \text{ квар.}$$

На рисунке 3.3 наглядно приведена схема внешнего электроснабжения второго варианта.



**Рисунок 3.3 – Второй вариант схемы внешнего электроснабжения**

Определим потери электрической энергии в трансформаторах ГПП:

$$\Delta W_T \text{ гпп} = 2 \cdot (\Delta P_{\text{ХХ}} \cdot T_{\text{вкл}} + 0,5 \cdot \tau \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} + K_2), \text{ кВт ч}, \quad (3.29)$$

$$\Delta W_T \text{ гпп} = 2 \cdot (12 \cdot 4000 + 0,5 \cdot 2405 \cdot 60 \cdot 0,67^2) = 225870 \text{ кВт ч}.$$

где,  $T_{\text{вкл}}$  – число часов включения, для трехфазной работы  $T_{\text{вкл}} = 6000$  ч;  
 $\tau$  – число часов использования максимума потерь и зависит от числа часов использования максимума нагрузки:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2405 \text{ ч}. \quad (3.30)$$

где  $T_M = 4000$  ч. – число часов использования максимума.

Выбираем сечение проводов ЛЭП 110 кВ: Определим мощность, проходящую по ЛЭП

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{тр.гпп}})^2 + Q_{\text{э}}^2}, \quad (3.31)$$

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(13066 + 78)^2 + 3050^2} = 13493 \text{ кВА}.$$

$$I_p = \frac{S_{\text{лэп}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot 2} = \frac{13493}{1,73 \cdot 36,75 \cdot 2} = 106,1 \text{ А}. \quad (3.32)$$

$$I_{\text{ав}} = I_p \cdot 2 = 212,2 \text{ А}. \quad (3.33)$$

а) определим сечение по экономической плотности тока ( $j_{\text{э}}$ ):

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}} = \frac{106,1}{1,1} = 96,45 \text{ мм}^2, \quad (3.34)$$

где  $j_{\text{э}} = 1,1$  А/мм<sup>2</sup> – плотность тока для воздушных линий; принимаем стандартное ближайшее сечение  $F_{\text{э}} = 95$  мм<sup>2</sup>,  $I_{\text{доп}} = 265$  А.

б) на нагрев рабочим током:

$$I_{\text{доп.пров.}} > I_p \cdot 265 \text{ А} > 366 \text{ А}$$

в) по аварийному режиму:

$$1,3 \times I_{\text{доп.пров.}} > I_{\text{ав}} \cdot 786,5 > 732 \text{ А}$$

Окончательно принимаем провод марки АС-240/32,  $I_{\text{доп}} = 605$  А

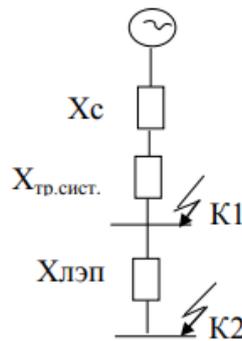
Определим потери электрической энергии в ЛЭП 35 кВ:

$$\Delta W_{\text{лэп}} = 3 \cdot I_p^2 \cdot \frac{R}{2} \cdot 10^{-3} \cdot \tau, \text{ кВт ч}, \quad (3.35)$$

где  $R = r_0 \times L$ , Ом;  $r_0 = 0,12$  Ом/км – удельное активное сопротивление АС-240/32.

$$\Delta W_{\text{лэп 35}} = 3 \cdot 106,1^2 \cdot \frac{0,12 \cdot 6,5}{2} \cdot 2405 = 411 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Сперва до выбора аппаратов составляется схема замещения внешней системы электроснабжения (рисунок 3.4) и рассчитываются токи короткого замыкания.



**Рисунок 3.4 - Схема замещения ВСЭ.**

Вычисляем базисные токи:

$$I_6 = \frac{S_6}{1,73 \cdot U_6} = \frac{1000}{1,73 \cdot 37} = 15,6 \text{ кА.} \quad (3.36)$$

Вычисляем сопротивление трансформатора системы

$$X_{\text{тр.с}} = \frac{S_6 \cdot U_{\text{вс}}}{100 \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 10} = 1,14 \text{ о. е.} \quad (3.37)$$

Вычисляем сопротивление ЛЭП:

$$X_{\text{лэп}} = \frac{x_0 \cdot L \cdot S_6}{U_{\text{ср}}^2} = \frac{0,34 \cdot 5,5 \cdot 1000}{37^2} = 1,28 \text{ о. е.} \quad (3.38)$$

Вычисляем ток КЗ в точке К – 1:

$$I_{k-1} = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{тр.с}}} = \frac{15,6}{1,14 + 1,3} = 6,4 \text{ кА.} \quad (3.39)$$

Вычисляем ток короткого замыкания в точке К-2:

$$I_{k-2} = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{лэп}} + X_{\text{тр.с}}} = \frac{15,6}{1,14 + 1,3 + 1,28} = 4,2 \text{ кА.} \quad (3.40)$$

Вычисляем ударный ток в точке К – 1:

$$i_{\text{уд}} = K_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k-1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,4 = 16,3 \text{ кА.} \quad (3.41)$$

Вычисляем ударный ток в точке К-2:

$$i_{\text{уд}} = K_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k-2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,2 = 10,7 \text{ кА.} \quad (3.42)$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{k-1} = \sqrt{3} \cdot I_{k-1} \cdot U_{\text{н}} = 1,73 \cdot 37 \cdot 6,4 = 409,7 \text{ МВА.} \quad (3.43)$$

$$S_{k-2} = \sqrt{3} \cdot I_{k-2} \cdot U_{\text{н}} = 1,73 \cdot 37 \cdot 4,2 = 268,8 \text{ МВА.} \quad (3.44)$$

После расчета токов КЗ произведем выбор: вакуумного выключателя ВР35НСМ, паспортные данные которого приведены в таблице 3.4.

**Таблица 3.4 – Характеристики выключателя ВР35НСМ**

Параметры	$U_H$	$I_H$ кА	$I_{отк}$ кА	$I_{дин}$ кА
	35	1600	20	52

$$I_{ном} \geq I_{ав} \quad 1600 \text{ А} \geq 732 \text{ А} \quad (3.45)$$

$$I_{откл} \geq I_{кз} \quad 20 \text{ кА} \geq 5,85 \text{ кА} \quad (3.46)$$

$$I_{дин} \geq i_{уд} \quad 52 \text{ кА} \geq 14,89 \text{ кА} \quad (3.47)$$

Выбираем разъединители типа РНДЗ-35/1000 У1

$$U_{ном} \geq U_{раб}; \quad 35 \text{ кВ} \geq 35 \text{ кВ.}$$

$$I_{ном} \geq I_{ав}; \quad 1000 \text{ А} \geq 336 \text{ А.}$$

$$I_{дин.} \geq i_{уд}; \quad 65 \text{ кА} \geq 17,6 \text{ кА.}$$

$$I_{терм} \geq I_{кз}; \quad 25 \text{ кА} \geq 6,9 \text{ кА}$$

Найдем капитальные затраты для выбранного оборудования:

Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр.гпп} = 2 \cdot 180 = 360 \text{ млн.тг.} \quad (3.48)$$

Затраты на ЛЭП-110 кВ:

$$K_{лэп-110} = 2 \times K_{лэп} = 2 \cdot 13,28 = 25,56 \text{ млн.тг.}$$

Затраты на выключатель ВР35НСМ:

$$K_{вгп} = 5 \cdot 15,7 = 78,5 \text{ млн.тг.} \quad (3.49)$$

Суммарные затраты:

Вариант – 1

$$\sum K = K_{тр.гпп} + K_{лэп110} + K_{вгп} = 37,4 + 440 + 85 = 562,4 \text{ млн. тг.} \quad (3.50)$$

$$И = 0,063 \cdot 525 = 33,07 \text{ млн.тг.} \quad (3.51)$$

$$И_{лэп} = 0,028 \cdot 69 = 3,93 \text{ млн.тг.} \quad (3.52)$$

$$Иа = И + И_{лэп} = 34,11 \text{ млн.тг.} \quad (3.53)$$

$$И_{экс} = 1\% \cdot 235 = 2,35 \text{ млн. тг.} \quad (3.54)$$

$$И_{экс.лэп} = 0,4\% \cdot 475 = 1,9 \text{ млн.тг.} \quad (3.55)$$

$$Иэ = И_{экс} + И_{экс.лэп} = 4,25 \text{ млн.тг.} \quad (3.56)$$

$$C_0 = 8 \text{ тг} \frac{\text{кВт}}{\text{ч}}.$$

$$И_{пот} = C_0(\Delta W_{тр.гпп} + \Delta W_{лэп110}) \quad (3.57)$$

$$И_{пот} = 8 \cdot (225870 + 339802 + 410977) = 7,8 \text{ млн. тг.}$$

$$\sum И = И_{п} + И_{э} + И_{а} = 46,2 \text{ млн. тг.} \quad (3.58)$$

$$З = E \cdot \sum К + \sum И = 0,12 \cdot 402,15 + 46,2 = 94,5 \text{ млн. тг.} \quad (3.59)$$

Вариант – 2

$$\sum К = K_{тр.гпп} + K_{лэп110} + K_{вгп} = 26,56 + 360 + 78,5 = 465,06 \text{ млн. тг.} \quad (3.60)$$

$$И = 0,063 \cdot 438,5 = 27,62 \text{ млн. тг.} \quad (3.61)$$

$$И_{лэп} = 0,028 \cdot 26,56 = 1,9 \text{ млн. тг.} \quad (3.62)$$

$$И_{а} = И + И_{лэп} = 28,36 \text{ млн. тг.} \quad (3.63)$$

$$И_{экс} = 1\% \cdot 438,5 = 7,86 \text{ млн. тг.} \quad (3.64)$$

$$И_{экс.лэп} = 0,4\% \cdot 26,56 = 0,106 \text{ млн. тг.} \quad (3.65)$$

$$И_{э} = И_{экс} + И_{экс.лэп} = 4,486 \text{ млн. тг.} \quad (3.66)$$

$$C_0 = 8 \text{ тг} \frac{\text{кВт}}{\text{ч}}.$$

$$И_{пот} = C_0(\Delta W_{тр.гпп} + \Delta W_{лэп35}) \quad (3.67)$$

$$И_{пот} = 8 \cdot (225870 + 339802 + 410977) = 7,8 \text{ млн. тг.}$$

$$\sum И = И_{п} + И_{э} + И_{а} = 48,3 \text{ млн. тг.} \quad (3.68)$$

$$З = E \cdot \sum К + \sum И = 0,12 \cdot 368,2 + 79,1 = 123,3 \text{ млн. тг.} \quad (3.69)$$

Для продолжения расчетов мы выбираем первый вариант схемы внешнего электроснабжения.

## 4 Расчет токов короткого замыкания

### 4.1 Вычисление токов КЗ $I_{кз}$ ( $U=10$ кВ) с учетом подпитки от СД

Для подбора оборудования производится расчет токов КЗ на шинах ГПП завода и затем составим схему замещения (рисунок 4).

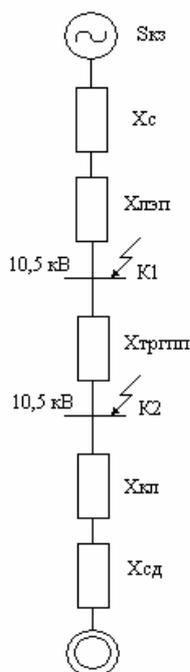


Рисунок 4 – Схема замещения ВСЭ.

Рассчитаем ток подпитки от СД.

В заводе установлено 10 синхронных двигателя типа СТД-630-2ЗУХЛ4 в компрессорной. Характеристика СД приведена в таблице 4.

Таблица 4 - Характеристики синхронных двигателей

ТИП	$P_{ном},$ кВт	$U_{ном},$ кВ	$\cos\varphi$	$K_3$
СТД-630-2ЗУХЛ4	630	10	0,9	0,8

Находим полную мощность СД:

$$S_{н.сд} = \frac{P_{н.сд7}}{\cos\varphi} = \frac{10 \cdot 630}{0,9} = 7000 \text{ кВА} . \quad (4.1)$$

Определяем расчетный ток СД:

$$I_{p.cд} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{630}{1,73 \cdot 10,5 \cdot 0,9} = 33 \text{ А} . \quad (4.2)$$

Подбираем марку и сечения кабеля к СД

а) по экономической плотности тока

$$F_{э.7} = \frac{I_{p.cд}}{j_{эк}} = \frac{33}{1,2} = 27,5 \text{ мм}^2. \quad (4.3)$$

б) по минимальному сечению

$$F_{э.min.} = \alpha \cdot I_{к-3} \cdot \sqrt{t_{привед}} = 12 \cdot 4,67 \cdot \sqrt{0,8} = 50,1 \text{ мм}^2. \quad (4.5)$$

Принимаем кабель маркой ААШВ-10-(3х70) с  $I_{доп} = 165 \text{ А}$

Данные кабеля:  $r_0 = 0,443 \text{ Ом/км}$   $x_0 = 0,086 \text{ Ом/км}$

$$X_{каб.сд} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_б}{U_{ср}^2} = \frac{0,086 \cdot 5,5 \cdot 1000}{10,5^2} = 0,06 \text{ о. е.} \quad (4.6)$$

$$X_{сд} = \frac{x_d'' \cdot S_б}{S_{н.сд}} = \frac{0,2 \cdot 1000}{7000} = 142,8 . \quad (4.7)$$

Определяется в точке К-3 ток короткого замыкания

$$I_б = \frac{S_б}{1,73 \cdot U_б} = \frac{1000}{1,73 \cdot 10,5} = 55 \text{ кА} . \quad (4.8)$$

$$X_{тр.гпп} = \frac{U_{кз} \cdot S_б}{100 \cdot S_{нт}} = \frac{11,5 \cdot 1000}{100 \cdot 10} = 11,5 \text{ о. е.} \quad (4.9)$$

$$I_{к-3} = \frac{I_б}{X_c + X_{лэп} + X_{тр.с}} = \frac{55}{1,14 + 1,78 + 11,5} = 3,82 \text{ кА} . \quad (4.10)$$

Ток короткого замыкания от двигателей равен:

$$I_{кз.сд} = \frac{E_{сд} \cdot I_б}{X_{каб} + X_{сд}} = \frac{1,048 \cdot 55}{0,06 + 142,8} = 0,4 \text{ кА.} \quad (4.11)$$

Суммарный ток КЗ на 10 кВ в точке К-3 с учетом подпитки от двигателей компрессорной будет равен

$$I_{\Sigma кз} = I_{кз.сд} + I_{к-3} = 0,4 + 3,82 = 4,22 \text{ кА.} \quad (4.12)$$

$$i_{уд \Sigma к} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\Sigma кз} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,22 = 10,74 \text{ кА.} \quad (4.13)$$

$$S_{\Sigma кз} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{\Sigma кз} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4,22 = 76,74 \text{ МВА.} \quad (4.14)$$

$$B_k = I_{к-3}^2 (t_{откл} + T_{ампер}) = 4,22^2 * (0,25 + 0,185) = 7,74. \quad (4.15)$$

## 5 Подбор оборудования

### 5.1 Подбор выключателей

Выбор выключателей

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} = \sqrt{13066^2 + 3050^2} = 13417 \text{ кВА.} \quad (5.1)$$

Расчетный ток

$$I_{\text{р.зав}} = \frac{S_{\text{р.зав}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{13417}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 368,8 \text{ А,} \quad (5.2)$$
$$I_{\text{ав}} = I_{\text{р.зав}} \cdot 2 = 737,7 \text{ А.}$$

Выбираем выключатель типа ВВТЭ-10-20/1000УХЛ2

$$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ} > U = 10 \text{ кВ}$$
$$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 737,7 \text{ А}$$
$$I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА} > I_{\text{кз}} = 4,22 \text{ кА}$$

Расчетный ток, проходящий через секционный выключатель, составляет половину мощности, которая проходит через вводные выключатели:

$$I_p = \frac{I_{\text{ав}}}{2} = 368,8 \text{ А.} \quad (5.3)$$

Принимаем выключатель типа ВВТЭ-10-10/630У2

$$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ} > U = 10 \text{ кВ}$$
$$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А} > I_{\text{ав}} = 368,8 \text{ А}$$
$$I_{\text{откл}} = 10 \text{ кА} > I_{\text{кз}} = 4,22 \text{ кА}$$

Выбор выключателей отходящих линий  
Магистраль ГПП - (ТП 1-ТП 2):

$$S_{\text{рТП1,2}} = \sqrt{(P_{\text{рТП1,2}} + \Delta P_{\text{тр}})^2 + (Q_{\text{рТП1,2}} + \Delta Q_{\text{тр}})^2}, \quad (5.4)$$

$$S_{\text{рТП1,2}} = \sqrt{(2756,3 + 35,9)^2 + (1367,2 + 186,4)^2} = 3195,3 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{S_{\text{рТП1,2}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{3195,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 87,84 \text{ А,} \quad (5.5)$$

$$I_{ав} = I_p \cdot 2 = 175,68 \text{ A.} \quad (5.6)$$

Выбираем выключатель типа ВВТЭ-10-20/630УХЛ2

$$\begin{aligned} U_H &\geq U_p; & 10 \text{ кВ} &\geq 10 \text{ кВ.} \\ I_H &\geq I_{ав}; & 630 \text{ А} &\geq 175,68 \text{ А.} \\ I_{дин} &\geq I_{кз}; & 20 \text{ кА} &\geq 4,22 \text{ кА.} \\ I_{дин} &\geq i_{уд \Sigma к}; & 51 \text{ кА} &\geq 10,74 \text{ кА.} \\ I_{терм} &\geq B_k & 20 \text{ кА} &\geq 7,74 \text{ кА} \end{aligned}$$

Магистраль ГПП - (ТП3-ТП4):

$$S_{pТП1,2} = \sqrt{(P_{pТП1,2} + \Delta P_{тр})^2 + (Q_{pТП1,2} + \Delta Q_{тр})^2}, \quad (5.7)$$

$$S_{pТП1,2} = \sqrt{(2780,9 + 36,6)^2 + (1397,1 + 189,8)^2} = 3218 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{S_{pТП1,2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3218}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 88,4. \quad (5.8)$$

$$I_{ав} = I_p \cdot 2 = 176,8 \text{ А.} \quad (5.9)$$

Выбираем выключатель типа ВВТЭ-10-20/630УХЛ2

$$\begin{aligned} U_H &\geq U_p; & 10 \text{ кВ} &\geq 10 \text{ кВ.} \\ I_H &\geq I_{ав}; & 630 \text{ А} &\geq 175,68 \text{ А.} \\ I_{откл} &\geq I_{кз}; & 20 \text{ кА} &\geq 4,22 \text{ кА.} \\ I_{дин} &\geq i_{уд \Sigma к}; & 51 \text{ кА} &\geq 10,74 \text{ кА.} \\ I_{терм} &\geq B_k & 20 \text{ кА} &\geq 7,74 \text{ кА} \end{aligned}$$

Магистраль ГПП - (ТП 5-ТП 6):

$$S_{pТП1,2} = \sqrt{(P_{pТП1,2} + \Delta P_{тр})^2 + (Q_{pТП1,2} + \Delta Q_{тр})^2}, \quad (5.10)$$

$$S_{pТП1,2} = \sqrt{(2377,5 + 28,6)^2 + (874,4 + 147,6)^2} = 2406 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{S_{pТП1,2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{2406}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 66,14. \quad (5.11)$$

$$I_{ав} = I_p \cdot 2 = 132,28 \text{ А.} \quad (5.12)$$

Выбираем выключатель типа ВВТЭ-10-20/630УХЛ2

$$\begin{aligned}U_n &\geq U_p; & 10 \text{ кВ} &\geq 10 \text{ кВ.} \\I_n &\geq I_{ав.}; & 630 \text{ А} &\geq 175,68 \text{ А.} \\I_{откл} &\geq I_{кз}; & 20 \text{ кА} &\geq 4,22 \text{ кА.} \\I_{дин} &\geq i_{уд \Sigma к} & 51 \text{ кА} &\geq 10,74 \text{ кА.} \\I_{терм} &\geq B_k & 20 \text{ кА} &\geq 7,74 \text{ кА}\end{aligned}$$

Линия ГПП-СД-10

$$S_{н.сдб} = 7000 \text{ кВа}$$

$$I_{р.сдб} = 33 \text{ А}$$

Выбираем выключатель типа ВВТЭ-10-20/630УХЛ2

$$\begin{aligned}U_n &\geq U_p; & 10 \text{ кВ} &\geq 10 \text{ кВ.} \\I_n &\geq I_{ав.}; & 630 \text{ А} &\geq 66 \text{ А.} \\I_{откл} &\geq I_{кз}; & 20 \text{ кА} &\geq 4,22 \text{ кА.} \\I_{дин} &\geq i_{уд \Sigma к} & 51 \text{ кА} &\geq 10,74 \text{ кА.} \\I_{терм} &\geq B_k & 20 \text{ кА} &\geq 7,74 \text{ кА.}\end{aligned}$$

Выбор разъединителя для СД.

$$I_{р.сдб} = 33 \text{ А}$$

Для СД выбираем разъединитель марки РВРЗ-Ш-10-2000УЗ

$$\begin{aligned}U_n &\geq U_p; & 10 \text{ кВ} &\geq 10 \text{ кВ.} \\I_n &\geq I_{ав.}; & 630 \text{ А} &\geq 66 \text{ А.} \\I_{дин} &\geq i_{уд \Sigma к} & 51 \text{ кА} &\geq 10,74 \text{ кА.} \\I_{терм} &\geq B_k & 20 \text{ кА} &\geq 7,74 \text{ кА.}\end{aligned}$$

Выбор разъединителей для ГП.

$$I_{р.д} = \frac{S_{ном.гр}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (5.13)$$

$$I_{р.д} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,9 \text{ А.}$$

Для всех ТП выбираем разъединитель марки РВРЗ-Ш-10-2000УЗ

$$U_n \geq U_p; \quad 10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ.}$$

$$I_n \geq I_{ав.}; \quad 630 \text{ А} \geq 66 \text{ А.}$$

$$I_{лин} \geq i_{уд \Sigma к} \quad 51 \text{ кА} \geq 10,74 \text{ кА.}$$

$$I_{терм} \geq B_k \quad 20 \text{ кА} \geq 7,74 \text{ кА}$$

Выбор разъединителя для СД.

Сведем результаты расчета в таблицу 5.1.

**Таблица 5.1 – Типы выключателей и разъединителей для отходящих линий**

Отходящая линия	Тип выключателей	Марка разъединителей
Магистраль ГПП - (ТП1-ТП2, ТП3-ТП4, ТП5-ТП6)	ВВТЭ-10-20/630УХЛ2	РВРЗ-Ш-10- 2000УЗ
Линия ГПП-СД-6		

## 5.2 Подбор трансформаторов тока

При выборе трансформаторов тока учитываются следующие условия:

- 1) Напряжение установки: Выбирается трансформатор тока, у которого номинальное напряжение соответствует требуемому значению.
- 2) Ток: Выбирается трансформатор тока с номинальным током, соответствующим расчетному току.
- 3) Электродинамическая стойкость: Учитывается коэффициент электродинамической стойкости ( $K_{дин}$ ).
- 4) Вторичная нагрузка: Учитывается величина вторичной нагрузки ( $S_{н2}$ ) и сравнивается с расчетным значением нагрузки ( $S_{нагр расч}$ ).
- 5) Термическая стойкость: Учитывается коэффициент термической стойкости ( $K_{тс}$ ).
- 6) Конструкция и класс точности: Учитываются требования к конструкции трансформатора и его классу точности.

Основываясь на этой информации, производится выбор соответствующих трансформаторов тока для обеспечения измерения и контроля электрических параметров в системе.

а) При выборе трансформаторов тока для ввода в секционном выключателе учитываются указанные условия. Электроизмерительные приборы, подключенные к трансформаторам тока (ТТ), приведены в таблице 5.2.

**Таблица 5.2 – Приборы электроизмерительные подключенные к ТТ**

Прибор	Тип	Фаза А, ВА	Фаза В, ВА	Фаза С, ВА
А	Э-350	0,5	0,5	0,5
W	Д-365	0,5	-	0,5
Var	И-395	0,5	-	0,5
Wh	СА3-И681	2,5	2,5	2,5
Varh	СРУ-И689	2,5	2,5	2,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Примем трансформатор тока ТЛ -10-0,5/10P-1000/5:  $I_n = 1000$  А;  $U_n = 10$  кВ;  $S_n = 30$  ВА

$$U_n \geq U_p; \quad 10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ.}$$

$$I_n \geq I_{ав.}; \quad 1250 \text{ А} \geq 737,7 \text{ А.}$$

$$I_{лин} \geq i_{уд\Sigma}; \quad 51 \text{ кА} \geq 10,74 \text{ кА.}$$

$$S_{2н} \geq S_{2р}; \quad 30 \text{ ВА} \geq 10,5 \text{ ВА.}$$

При расчете вторичной нагрузки трансформаторов тока учитывается сопротивление, которое образуется в результате суммы сопротивлений приборов, соединительных проводов и контактов. Эти элементы составляют вторичную цепь трансформатора тока и вносят свой вклад в общее сопротивление этой цепи.

$$R_2 = R_{приб} + R_{пров} + R_{к-гов} \quad (5.14)$$

Сопротивление приборов определяется по формуле

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 0,26 \text{ Ом}, \quad (5.15)$$

$$r_{2н} = \frac{S_{2н ТТ}}{I_2^2} = \frac{6,5}{5^2} = 1,2 \text{ Ом.} \quad (5.16)$$

где  $S_{приб}$  – мощность, потребляемая приборами;  
 $I_2$  – вторичный номинальный ток прибора.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{доппр} = r_{2н} - r_{приб} - r_{кон} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ Ом}, \quad (5.17)$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,84} = 0,16 \text{ мм}^2.$$

Принимаем провод АВВГ F=2,5мм<sup>2</sup>:

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом} \quad (5.17)$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,416 \times 52 = 10,5 \text{ ВА.} \quad (5.18)$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,26 + 0,056 + 0,1 = 0,416 \text{ Ом.} \quad (5.19)$$

Выбираем трансформатор тока на секционном выключателе шин ГПП: ТЛ-10-0,5/10P-1000/5: I<sub>н</sub>= 1000 А; U<sub>н</sub>= 10 кВ; S<sub>н</sub> =30 ВА

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{р}}; \quad 10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ.}$$

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{ав}}; \quad 1000 \text{ А} \geq 368,8 \text{ А.}$$

$$I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}\Sigma}; \quad 81 \text{ кА} \geq 10,74 \text{ кА.}$$

$$S_{2\text{ н}} \geq S_{2\text{ р}}; \quad 10 \text{ ВА} \geq 4,4 \text{ ВА.}$$

**Таблица 5.3 - Данные амперметра**

Прибор	Тип	А, ВА	В, ВА	С, ВА
Амперметр	Э-350	0,5	0,5	0,5
Итого		0,5	0,5	0,5

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{0,5}{5^2} = 0,02 \text{ Ом}; \quad r_{2\text{ н-ка}} = \frac{S_{2\text{ н-тг}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{доппр}} = r_{2\text{ н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,02 - 0,1 = 0,28 \text{ Ом};$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,28} = 0,5 \text{ мм}^2;$$

Принимаем провод АВВГ F=2,5мм<sup>2</sup>.

$$R_{\text{пров}} = \frac{\rho \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом}; \quad S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,176 \times 5^2 = 4,4 \text{ ВА};$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,02 + 0,056 + 0,1 = 0,176 \text{ Ом.}$$

б) Выбираем трансформатор тока линии ГПП-(ТП 1-ТП 2); ГПП-(ТП 3); ГПП-(ТП 4-ТП 5); ГПП-СД-10.

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{5,5}{5^2} = 0,22 \text{ Ом}, \quad r_{2 \text{ н-ка}} = \frac{S_{2 \text{ н ГТ}}}{I_2^2} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом},$$

$$r_{\text{доппр}} = r_{2 \text{ н}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{кон}} = 0,4 - 0,22 - 0,1 = 0,08 \text{ Ом},$$

$$q_{\text{пров}} = \frac{c \times L}{r_{\text{доп}}} = \frac{0,028 \times 5}{0,08} = 1,75 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель АВВГ F=2,5 мм<sup>2</sup>.

$$R_{\text{пров}} = \frac{c \times L}{F} = \frac{0,028 \times 5}{2,5} = 0,056 \text{ Ом},$$

$$S_2 = R_2 \times I_2^2 = 0,376 \times 5^2 = 9,4 \text{ ВА},$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пров}} + R_{\text{к-тов}} = 0,22 + 0,056 + 0,1 = 0,376 \text{ Ом}.$$

Трансформатор тока линии ГПП - (ТП 1-ТП 2):  $I_{\text{ав}}=175,68 \text{ А}$ ; примем трансформатор тока ТЛ -10-І-0,5/10-200/5 У3:  $I_{\text{н}}= 200 \text{ А}$ ;  $U_{\text{н}}= 10 \text{ кВ}$ ;  $S_{\text{н}} = 10 \text{ ВА}$ .

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{р}}; \quad 10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{ав.}}; \quad 200 \text{ А} \geq 175,68 \text{ А}.$$

$$I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}; \quad 51 \text{ кА} \geq 10,74 \text{ кА}.$$

$$S_{2 \text{ н}} \geq S_{2 \text{ р}}; \quad 10 \text{ ВА} \geq 7,9 \text{ ВА}.$$

Трансформатор тока линии ГПП-(ТП 3-ТП 4):  $I_{\text{ав}}=176,8 \text{ А}$ ; примем трансформатор тока ТЛ -10-І-0,5/10-200/5 У3:  $I_{\text{н}}= 200 \text{ А}$ ;  $U_{\text{н}}= 10 \text{ кВ}$ ;  $S_{\text{н}} = 10 \text{ ВА}$ .

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{р}}; \quad 10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{ав.}}; \quad 200 \text{ А} \geq 176,8 \text{ А}.$$

$$I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}; \quad 51 \text{ кА} \geq 10,74 \text{ кА}.$$

$$S_{2 \text{ н}} \geq S_{2 \text{ р}}; \quad 10 \text{ ВА} \geq 8,3 \text{ ВА}.$$

Трансформатор тока линии ГПП - (ТП 5-ТП 6):  $I_{\text{ав}}=132,28 \text{ А}$ ; примем трансформатор тока ТЛ -10-І-0,5/10-200/5 У3:  $I_{\text{н}}= 150 \text{ А}$ ;  $U_{\text{н}}= 10 \text{ кВ}$ ;  $S_{\text{н}} = 10 \text{ ВА}$ .

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{р}}; \quad 10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{ав.}}; \quad 150 \text{ А} \geq 132,28 \text{ А}.$$

$$I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}; \quad 51 \text{ кА} \geq 10,74 \text{ кА}.$$

$$S_{2 \text{ н}} \geq S_{2 \text{ р}}; \quad 10 \text{ ВА} \geq 8,7 \text{ ВА}.$$

Трансформатор тока линии ГПП-СД-6:  $I_{p.сд} = 33 \text{ А}$ ; примем трансформатор тока ТОЛ - 10/У3:  $I_n = 50 \text{ А}$ ;  $U_n = 10 \text{ кВ}$ ;  $S_n = 10 \text{ ВА}$ .

$$U_n \geq U_p; \quad 10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ.}$$

$$I_n \geq I_{p.сд}; \quad 50 \text{ А} \geq 33 \text{ А.}$$

$$I_{дин} \geq i_{уд\Sigma}; \quad 51 \text{ кА} \geq 10,74 \text{ кА.}$$

$$S_{2н} \geq S_{2p}; \quad 10 \text{ ВА} \geq 8,7 \text{ ВА.}$$

### 5.3 Подбор трансформаторов напряжения

Расчет для выбора трансформатора напряжения приведен в таблице 5.4.

**Таблица 5.4 - Электроизмерительные приборы подключенные к ТН**

Прибор	Тип	$S_{об-ки}$ , ВА	Число об-к	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	Число приборо в	$\Sigma P_{приб}$ , Вт	$\Sigma Q_{приб}$ , вар
V	Э-335	2	2	1	0	2	4	-
W	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Var	И-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Wh	СА3-И681	3 Вт	2	0,38	0,92 5	9	36	87,63
Varh	СР4-И689	3 вар	2	0,38	0,92 5	9	36	87,63
Итого							82	175,2 6

Выбираются трансформаторы напряжения по ниже представленным условиям:

1. по напряжению установки:  $U_{ном} \geq U_{уст}$ ;
2. по вторичной нагрузке:  $S_{ном2} \geq S_{2расч}$ ;
3. по классу точности;
4. по конструкции и схеме соединения.

Расчетная вторичная нагрузка:

$$S_{2p} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{82^2 + 175,26} = 193,5 \text{ ВА}$$

Подбираем тип трансформатора напряжения НТМИ-10-66У3

**Таблица 5.5 - Паспортные данные НТМИ-10-66У3**

Паспортные данные	Расчетные значения
$U_{HT} = 10\text{кВ}$	$U_{HT} = 10\text{ кВ}$
$S_{H2} = 300\text{ кВА}$	$S_{p2} = 193,5\text{ ВА}$

Выбираем ограничитель перенапряжения типа ОСР-12-NFF, согласно условиям.

$$U_{(ном.в)} \geq U_{(ном.с)} \quad 10\text{ кВ} \geq 10\text{ кВ}$$

#### **5.4 Подбор силовых кабелей отходящих линий**

Производим выбор кабелей по условиям:

по экономической плотности тока:  $F_{э} = I_p / j_{э}$ ;

по аварийному режиму  $I_{доп ав} \geq I_{ав}$ .

Подбираем кабель ГПП-ТП1-ТП2:

$$S_{pТП1,2} = 3195,3\text{ кВА};$$

$$I_p = 87,84\text{ А};$$

$$I_{ав} = 175,68\text{ А};$$

$$F_{э} = I_p / j_{э} = 87,84 / 1,3 = 67,56\text{ мм}^2.$$

Подбираем марку кабеля ААШВ-10-(3x70),  $I_{доп} = 205\text{ А}$ .

в) проверка по аварийному току:

$$I_{(доп.ав)} = 1,3 \times I_{доп}$$

$$I_{(доп.ав)} \geq I_{ав} \quad (266,5 \geq 175,68)$$

Подбираем кабель ГПП-ТП3-ТП4:

$$S_{pТП1,2} = 3218\text{ кВА};$$

$$I_p = 88,4\text{ А};$$

$$I_{ав} = 176,8\text{ А};$$

$$F_3 = I_p / j_{\text{эк}} = 88,4 / 1,3 = 68 \text{ мм}^2.$$

Подбираем марку кабеля ААШВ-10-(3х70),  $I_{\text{доп}} = 205 \text{ А}$ .

в) проверка по аварийному току:

$$I_{(\text{доп.ав})} = 1,3 \times I_{\text{доп}}$$

$$I_{(\text{доп.ав})} \geq I_{\text{ав}} \quad (266,5 \geq 175,68)$$

Подбираем кабель ГПП-ТП5-ТП6:

$$S_{p\text{ТП}1,2} = 2406 \text{ кВА};$$

$$I_p = 66,14 \text{ А};$$

$$I_{\text{ав}} = 132,28 \text{ А};$$

$$F_3 = I_p / j_{\text{эк}} = 66,14 / 1,3 = 50,87 \text{ мм}^2.$$

Подбираем марку кабеля ААШВ-10-(3х70),  $I_{\text{доп}} = 205 \text{ А}$ .

в) проверка по аварийному току:

$$I_{(\text{доп.ав})} = 1,3 \times I_{\text{доп}}$$

$$I_{(\text{доп.ав})} \geq I_{\text{ав}} \quad (266,5 \geq 175,68)$$

Подбираем кабель ГПП-СД6:

$$S_{p\text{ТП}1,2} = 7000 \text{ кВА};$$

$$I_p = 33 \text{ А};$$

$$I_{\text{ав}} = 66 \text{ А};$$

$$F_3 = I_p / j_{\text{эк}} = 33 / 1,3 = 25,4 \text{ мм}^2.$$

Подбираем марку кабеля ААШВ-10-(3х50),  $I_{\text{доп}} = 145,6 \text{ А}$ .

в) проверка по аварийному току:

$$I_{(\text{доп.ав})} = 1,3 \times I_{\text{доп}}$$

$$I_{(\text{доп.ав})} \geq I_{\text{ав}} \quad (189,28 \geq 66)$$

Расчетные данные выбора оставшихся кабелей внесены в таблицу 5.6.

**Таблица 5.6 – Кабельный журнал**

Наименование участка	S <sub>p</sub> , кВ А	Кол-во каб. в траншее	Нагрузка		По экономич. плот. Тока		По току короткого замыкания		По условию нагрева рабочим током		По аварийному режиму		По доп. нагр.	Выбранный кабель	I <sub>доп</sub> , А
			I <sub>p</sub> , А	I <sub>ав</sub> , А	j <sub>э</sub>	F <sub>э</sub> , мм <sup>2</sup>	I <sub>к</sub> , кА	S, мм <sup>2</sup>	I <sub>дл. доп</sub> , А	I <sub>p</sub> , А	1,3I <sub>доп</sub>	I <sub>ав</sub> , А			
ГПП-ТП1-ТП2	319 5	6	87,8 4	175, 68	1, 3	67, 56	4,2 2	39,2 3	205	89,6	266,5	179	0,75	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x70)	205
ГПП-ТП3-ТП4	321 8	4	88,4	176, 8	1, 3	68	4,2 2	39,2 3	205	44,8	266,5	89,6	0,75	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x70)	205
ГПП-ТП4-ТП6	240 6	6	66,1 4	113, 22	1, 3	50, 87	4,2 2	39,2 3	205	89,4	266,5	178,8	0,75	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x70)	205
ГПП-СД	700	4	33	66	1, 3	25, 4	0,4	39,2 3	145,6	38,5	189,2 8	77	0,8	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x50)	145,6

## 6 Расчет молниезащиты

Перенапряжения - это внезапные и кратковременные повышения напряжения, которые могут стать опасными для изоляции электроустановки. В зависимости от причины возникновения, перенапряжения могут быть внешними (атмосферными) и внутренними (коммутационными).

Внешние перенапряжения появляются от прямых ударов молний в электроустановку или в непосредственной близости от нее. Эти перенапряжения представляют наибольшую опасность для электроустановки, так как напряжения могут достигать 1000000 В при токе молнии до 200кА, и они не зависят от номинального напряжения электроустановки. Особенно опасны они для установок с более низким напряжением, так как расстояния между токоведущими частями и уровень изоляции ниже, чем при высоких напряжениях.

В соответствии со степенью требований к молниезащите зданий и сооружений, можно выделить три категории. Первая категория включает в себя здания и сооружения, в которых имеются горючие газы, пары, а также хранятся и перерабатываются взрывоопасные вещества в неметаллической или открытой таре. Для защиты от трех воздействий в таких зданиях и сооружениях необходима молниезащита. Вторая категория включает здания и сооружения, в которых взрывоопасные смеси паров, пыли и воздуха могут образоваться только при авариях, а взрывоопасные вещества хранятся в металлической таре. Защита от трех воздействий также является необходимой в таких зданиях и сооружениях. Третья категория включает все остальные здания и сооружения, для которых необходима защита от первичных воздействий и заносов высоких потенциалов, так как прямой удар молнии может привести к взрывам, разрушениям и пожарам.

Для защиты от атмосферных повреждений используются молниеотводы, разрядники и искровые промежутки, а также ограничители перенапряжения. Главным элементом всех этих устройств является заземлитель, который обеспечивает надежный отвод зарядов в землю. Молниеотвод - это защитное устройство, которое принимает разряд молнии и отводит его в землю. Молниеотвод состоит из трех частей: молниеприемника, который находится в верхней части молниеотвода и служит для приема молнии, заземлителя, который отводит ток в землю, и токоотвода, который соединяет молниеприемник и заземлитель. На рисунке 5 приводится наглядный пример расположения и порядка составных частей молниезащиты. В зависимости от категории здания или сооружения, для них могут быть применены различные типы молниеотводов и других средств защиты.

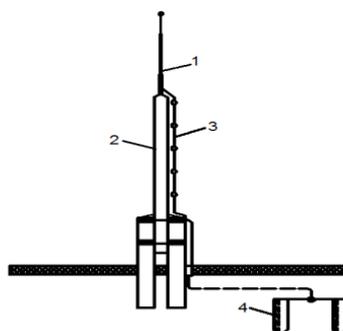
Молниеотвод — это система, состоящая из металлической конструкции, предназначенной для защиты от удара молнии. Она состоит из молниеприемника, заземляющего устройства и токоотвода. Молниеприемник может быть выполнен в виде металлического стержня или провода,

установленного над защищаемым объектом. Заземляющее устройство обеспечивает надежное заземление молниеотвода и должно иметь общее сопротивление не более 10-20 Ом. Токоотвод соединяет молниеприемник и заземляющее устройство и обеспечивает отвод тока молнии в землю.



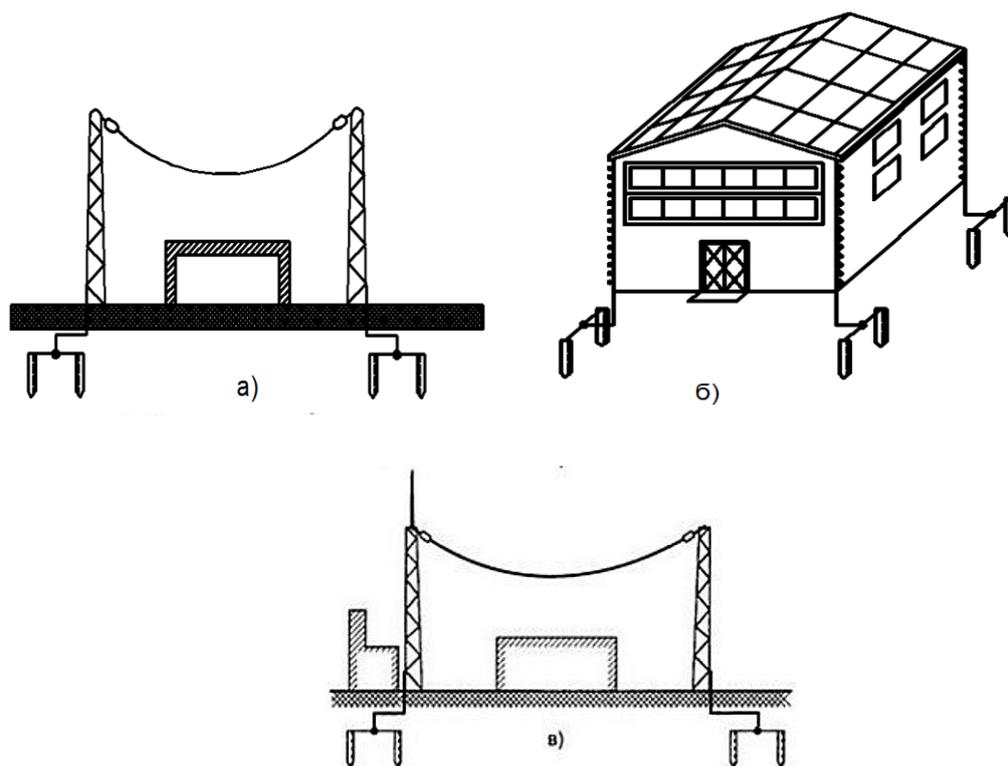
**Рисунок 6.1 – Основные составные части молниезащиты.**

Современные молниеотводы могут быть разных типов, включая стержневые (показаны на рисунке б), тросовые или антенные (показаны на рисунке ба), сетчатые (рисунок бб) и комбинированные (например, тросово-стержневые, рисунок бв). Сетчатые молниеотводы обычно применяются для защиты сооружений III категории, так как они обладают высокой степенью надежности и имеют низкие экономические затраты (небольшой расход металла, простота изготовления, монтажа и эксплуатации) в сравнении с стержневыми и тросовыми молниеотводами.



1 – молниеприемник, 2 – несущая конструкция, 3 – молниеотвод, 4 – заземлителя.

**Рисунок 6.2 – Стержневой отдельно стоящий молниеотвод**



**Рисунок 6.3 (а, б, в) – Тросовый и сетчатый молниеотводы**

Стержневые и тросовые молниеотводы могут взаимодействовать между собой и быть разделены на три типа: одиночные, двойные и многократные. Многократные молниеотводы содержат не менее трех молниеотводов, которые расположены не на одной прямой.

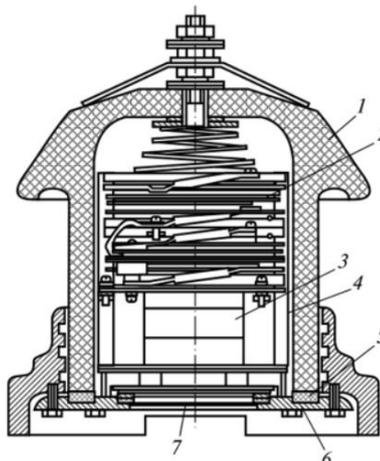
В электрических цепях часто возникают перенапряжения, вызванные различными факторами. Одной из основных причин таких перенапряжений являются атмосферные грозовые разряды, сопровождающиеся интенсивной ионизацией воздуха и уменьшением электрической прочности промежутков воздуха. Кроме того, импульсные повышения напряжения могут возникать при коммутационных переключениях.

Для снижения амплитуды перенапряжений на подстанциях применяют специальные устройства, которые можно разделить на два основных класса: разрядники и ограничители перенапряжения.

Разрядники - это электрические устройства, предназначенные для уменьшения амплитуды атмосферных, коммутационных или резонансных перенапряжений в электрических установках.

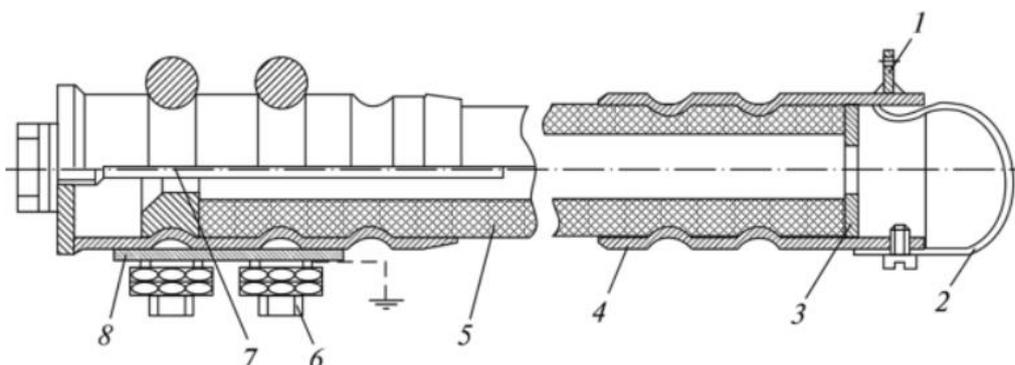
На подстанциях широко применяются два типа разрядников: вентильные и трубчатые. Вентильные разрядники представляют собой специальные устройства, оснащенные полупроводниковыми элементами, которые активируются при возникновении перенапряжения и позволяют эффективно отводить избыточную энергию. Трубчатые разрядники, в свою очередь,

используют газовые разряды в трубках для защиты от перенапряжений. Наглядные примеры этих двух типов разрядников показаны на рисунках 8 и 9.



1 — фарфоровая крышка; 2 — искровой промежуток; 3 — блок нелинейных резисторов; 4 — прокладка; 5 — уплотнительное кольцо; 6 — днище; 7 — предохранительный клапан.

**Рисунок 6.4 – Вентильный разрядник РВКУ-3,3А-10**



1 — ушко для крепления; 2 — указатель срабатывания; 3 — плоский электрод; 4 — наконечник; 5 — фибробакелитовая трубка; 6 — хомуты крепления; 7 — внутренний стержневой электрод; 8 — заземление.

**Рисунок 6.5 - Трубчатый фибробакелитовый разрядник**

Выбор между вентильными и трубчатыми разрядниками зависит от конкретных требований и характеристик подстанции, а также от стоимости и простоты эксплуатации. Эти разрядники составляют важную часть системы молниезащиты подстанций, обеспечивая надежную защиту от разрушительных перенапряжений и обеспечивая непрерывность работы электрических установок.

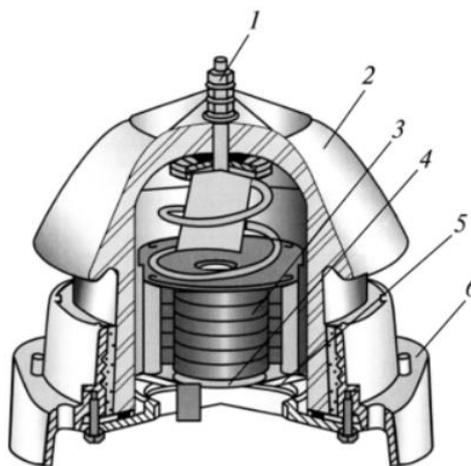
В современных условиях применение разрядников значительно ограничено в связи с появлением нового поколения электрических устройств, в которое входят ограничители перенапряжения.

Ограничители перенапряжений отличаются от вентильных разрядников тем, что они являются нелинейными и не имеют искровых промежутков. Они обладают рядом значительных преимуществ. Прежде всего, они обеспечивают повышенную скорость реакции, срабатывая менее чем за наносекунду. Кроме того, они не сопровождаются сопровождающим током, что является важным фактором.

Ограничители перенапряжений также характеризуются стабильностью характеристик нелинейных элементов на протяжении всего срока эксплуатации. Это приводит к снижению затрат на обслуживание, а также облегчает конструкцию устройства за счет отсутствия искровых промежутков. В связи с этим, себестоимость их производства оказывается низкой.

Все эти преимущества делают ограничители перенапряжений более предпочтительными в сравнении с разрядниками в современных электрических установках. Они обеспечивают надежную защиту от перенапряжений, а также способствуют более эффективной и экономичной эксплуатации электрических систем.

Ограничитель перенапряжений конструктивно представляет собой колонку из последовательно соединенных нелинейных сопротивлений, известных как варисторы. Варисторы выполнены из оксида цинка и размещены в прочном корпусе из фарфора или стеклопластика (см. рисунок 6.6), который обеспечивает защиту от механических нагрузок. В случае фарфорового корпуса он также служит для изоляции, а в случае стеклопластикового корпуса на него наносится ребристое покрытие из кремнийорганической резины.



1 — контактный вывод; 2 — фарфоровая крышка; 3 — блок оксидно-цинковых резисторов; 4 — предохранительный клапан; 5 — днище; 6 — чугунное основание.

**Рисунок 6.6 - Ограничитель перенапряжений ОПН-3,3-01**

В ограничителях перенапряжений используются нелинейные металлооксидные резисторы, у которых характеристика напряжение-ток является нелинейной. Благодаря этому, они могут находиться в непроводящем состоянии в течение продолжительного времени, пропуская только небольшой емкостной ток, чья величина обычно не превышает нескольких миллиампер. Однако, при возникновении импульса перенапряжения, ограничитель переходит в проводящее состояние и способен пропустить через варисторы токи в сотни и тысячи ампер. Это значительно снижает напряжение на защищаемом оборудовании. После срабатывания ограничитель перенапряжений возвращается в свое исходное состояние, сохраняя все свои характеристики.

Такая конструкция ограничителя перенапряжений обеспечивает эффективную защиту от высоких напряжений, позволяя сохранять стабильность работы оборудования. Варисторы являются важным элементом системы молниезащиты и способны обеспечить надежную защиту от перенапряжений, снижая риск повреждения электронной и электрической аппаратуры.

### **6.1 Исследование электромагнитного влияния молнии на СЭС завода по производству огнеупоров**

#### *Явление молнии и их сущность*

Молния - это яркое электрическое разрядное явление, которое происходит в атмосфере. Появление электромагнитного поля от молнии связано с физическими процессами, происходящими во время разряда. Молнии показаны на рисунке 6.7.

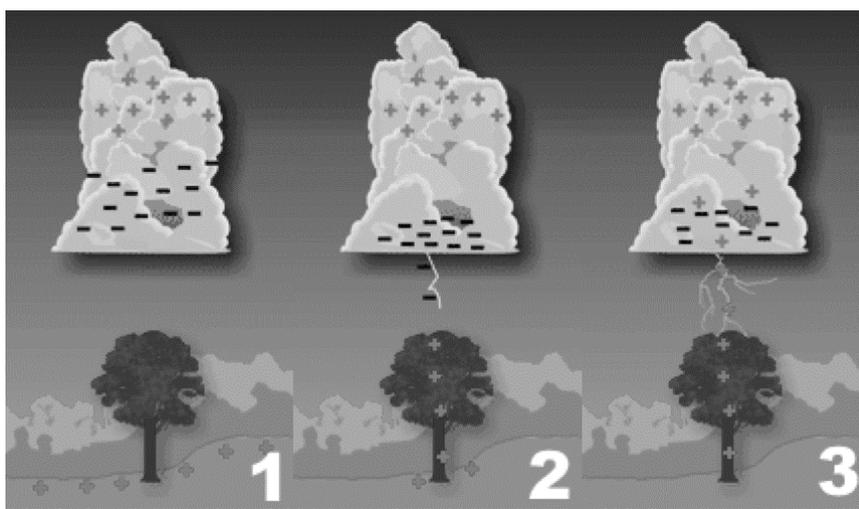


**Рисунок 6.7 – Молнии над воздушной линией**

Происхождение молнии начинается с образования электрических зарядов внутри грозового облака. Во время образования облака частицы воздуха сталкиваются друг с другом, вызывая разделение электрических зарядов.

Положительные и отрицательные заряды разделяются в разных частях облака, создавая электрическое поле между ними.

Когда разделение зарядов становится достаточно сильным, происходит разряд между облаком и землей или между различными облаками, что наглядно показано на рисунке 6.8. В этот момент формируется канал ионизированного воздуха, который называется путь молнии. Путь молнии состоит из серии разрядных шагов, которые происходят очень быстро. Каждый разрядный шаг длится около 50-100 микросекунд и перемещается с большой скоростью, порядка нескольких десятков тысяч километров в секунду. Напряжения могут достигать 1000 кВ при токе молнии до 200кА.



**Рисунок 6.8 – Появление молнии**

Во время прохождения разрядного шага по пути молнии возникают сильные электрические токи, что создает переменное магнитное поле вокруг канала разряда. Это электромагнитное поле распространяется волнами от пути молнии, образуя электромагнитные импульсы. Эти импульсы могут быть зарегистрированы и измерены специальными приборами.

Сопровождение молнии может включать в себя различные эффекты. Один из них - это световое сопровождение, которое мы видим в виде вспышек молнии. Это явление вызвано ионизацией воздуха вокруг пути молнии, что приводит к выделению яркого света.

Кроме того, молния сопровождается громом. Гром - это звуковая волна, которая возникает из-за резкого нагрева и расширения воздуха вокруг пути молнии.

#### *Анализ системы электроснабжения завода*

Перед тем, как приступить к исследованию, необходимо провести анализ системы электроснабжения на заводе, который специализируется на производстве огнеупоров. В ходе анализа следует изучить структуру и особенности системы электроснабжения, выявить ключевые компоненты и узлы,

которые могут быть подвержены риску от электромагнитного воздействия молнии.

Подстанция является основным узлом в системе электроснабжения завода, выполняющим функции преобразования и распределения электроэнергии. Она состоит из различных компонентов, таких как трансформаторы, высоковольтные и низковольтные выключатели, релейная защита и измерительные устройства.

Распределительные щиты выполняют роль в распределении электроэнергии от подстанции к различным потребителям на заводе. Они включают автоматические выключатели, предохранители, реле времени и другие компоненты, обеспечивающие защиту и управление электрическими цепями.

В системе электроснабжения завода присутствуют разнообразные потребители электроэнергии, включая осветительные системы, электродвигатели, обогреватели, печи и другие производственные устройства. Каждый из этих потребителей может иметь специфические требования к электропитанию и характеристики работы.

При воздействии молнии на систему электроснабжения, некоторые компоненты и узлы могут быть особенно уязвимыми. Трансформаторы могут быть чувствительными к высокому напряжению и току, которые возникают при молнии. Их обмотки и изоляция могут быть повреждены, что может привести к неисправности или поломке трансформаторов.

Молния может вызвать перенапряжение или перегрузку в системе, что может повлиять на работу выключателей и релейной защиты. Непредвиденные переключения могут привести к сбою в электроснабжении или повреждению оборудования. Современные системы управления и мониторинга на заводах часто содержат чувствительные электронные устройства, которые могут быть повреждены или выйти из строя при высоких электромагнитных полях, создаваемых молнией.

Кабели и провода, используемые для передачи электроэнергии на заводе, также могут быть подвержены повреждению в результате воздействия молнии. Обрывы, короткое замыкание и повреждение изоляции могут привести к сбоям в электроснабжении и прекращению работы системы. Полное сгорание кабеля после попадания молнии показано на рисунке 6.9.



**Рисунок 6.9 – Результат удара молнии на кабель**

В целом, при проектировании системы электроснабжения завода и разработке мер по защите от молнии, необходимо учитывать эти уязвимые компоненты и узлы, принимая соответствующие меры для защиты от электромагнитных воздействий молнии и минимизации риска повреждения оборудования и прерывания работы системы электроснабжения.

*Причины повреждения электроустановок и изоляций, а также опасность для человека.*

При попадании молнии в установки и кабели возникают несколько факторов, которые могут привести к сгоранию изоляции.

Молния обладает огромной энергией, обычно составляющей несколько миллионов ватт. Когда молния попадает в установку или кабель, эта энергия может проникнуть через изоляцию, вызывая повышение температуры внутри и около проводников. Высокая температура может привести к плавлению и сгоранию изоляции.

Молния также генерирует высокое напряжение, которое может вызвать пробой изоляции. Пробой происходит, когда электрический заряд преодолевает сопротивление изоляции и проходит через нее. Это может создать дугу или короткое замыкание, которое приводит к сгоранию изоляции.

Молния создает мощные электромагнитные поля вокруг себя. Эти поля могут воздействовать на изоляцию и вызывать перенапряжения или электромагнитные импульсы, которые могут повредить изоляцию и привести к ее сгоранию. При попадании молнии происходит громовая волна, которая создает дополнительные физические силы и удары. Эти ударные волны могут повредить изоляцию и вызвать ее сгорание.

Огромную опасность молнии представляют и для человека. Электрический удар от молнии может быть смертельным или привести к серьезным ожогам, повреждениям внутренних органов и нервной системы. Также молния сопровождается громом, который создается резким нагревом и расширением воздуха. Гром может вызвать сильные взрывные звуки и ударные волны, которые могут повредить слух и причинить механические травмы.

Кроме прямого воздействия молнии на человека и последующим вредом, молнии вызывают пожары, перенапряжения оборудования, которые несут угрозу для жизни.

*Анализ воздействий на производство и последствия*

Электромагнитное влияние молнии на систему электроснабжения завода может иметь серьезные последствия, которые могут привести к прерыванию работы оборудования и повреждению электрических систем. Вот некоторые из возможных последствий:

1) Мощные разряды молнии могут вызывать перенапряжение в электрической сети и приводить к аварийному отключению электроснабжения.

Это может привести к простою производственных процессов и потере продуктивности.

2) Высокое напряжение и ток, создаваемые молнией, могут повредить электрическое оборудование, такое как трансформаторы, генераторы, выключатели, реле и другие компоненты системы электроснабжения. Это может привести к необходимости ремонта или замены оборудования, а также к дополнительным затратам на восстановление работы.

3) Молния может вызвать помехи и электрические сбои в системах хранения данных и компьютерных сетях завода. Это может привести к потере или повреждению ценной информации, включая производственные данные, базы данных клиентов, административные записи и другую цифровую информацию.

4) Системы автоматизации и управления на заводе могут быть уязвимыми для электромагнитного воздействия молнии. Это может привести к сбою систем управления производственными процессами, потере контроля над оборудованием и возникновению проблем с безопасностью.

5) Молния может вызвать пожары в результате пробоя электрической системы или повреждения электрических проводов. Это может привести к повреждению зданий, оборудования и материалов, а также к опасности для работников и окружающей среды.

#### *Рекомендации по защите системы электроснабжения*

Разработка эффективной системы защиты от молнии для электроснабжения завода по производству огнеупоров имеет решающее значение для обеспечения надежности и безопасности электрооборудования. Ниже представлены рекомендации и практики, которые помогут снизить риск электромагнитных повреждений и обеспечить надежное электроснабжение:

1) Установка молниезащиты: Установите систему молниезащиты на заводе. Она должна включать молниеотводы, заземление и соединительные провода. Молниеотводы следует размещать на высоких структурах, таких как дымовые трубы и мачты, чтобы отводить разряды молнии от зданий и оборудования.

2) Заземление: Обеспечьте эффективную систему заземления для всех компонентов системы электроснабжения. Заземляющие устройства и соединительные провода должны иметь низкое сопротивление, чтобы обеспечить эффективное отведение электрических разрядов в землю.

3) Релейная защита: Установите релейную защиту для быстрого обнаружения и отключения электрических цепей при возникновении перенапряжения или перегрузки. Релейная защита должна быть чувствительной и быстродействующей, чтобы минимизировать повреждения оборудования.

4) Системы противопожарной защиты: Установите системы противопожарной защиты, такие как автоматические пожарные извещатели и системы пожаротушения, для предотвращения распространения пожара, который может возникнуть в результате воздействия молнии.

5) Резервное электроснабжение: Рассмотрите возможность установки резервного источника электропитания, такого как дизельный генератор, для обеспечения непрерывного электроснабжения в случае аварийного отключения основного источника.

6) Обучение и осведомленность: Проводите обучение персонала по правильной реакции на грозовые условия и принятию мер предосторожности. Обеспечьте осведомленность о правилах безопасности при работе с электрооборудованием во время грозы.

## 6.2 Расчет молниезащиты

Расчет молниезащиты является важным этапом проектирования зданий и сооружений, так как молния может привести к разрушению конструкций, пожару и даже потере жизней. Процесс расчета молниезащиты включает в себя выбор типа системы молниезащиты, определение защитных зон, расчет параметров системы и выбор соответствующих материалов и оборудования. Одним из главных факторов, влияющих на эффективность системы молниезащиты, является правильное определение границ защитных зон, в которых молниезащита должна обеспечиваться. Также важно учитывать множество других факторов, таких как высота здания, его форма, материалы, из которых оно построено, а также климатические условия в данном регионе. Все эти факторы должны быть учтены при проектировании и монтаже систем молниезащиты для обеспечения максимальной безопасности зданий и сооружений. Правильный расчет молниезащиты также позволяет уменьшить риск повреждения электрических систем и оборудования в здании, что может привести к сбоям в работе и дополнительным расходам на ремонт и замену оборудования. Кроме того, системы молниезащиты должны соответствовать стандартам и нормативам, установленным в данной стране, и рекомендациям производителей оборудования. В целом, правильный расчет молниезащиты позволяет обеспечить безопасность зданий и сооружений, снизить риски повреждения оборудования, а также уменьшить затраты на ремонт и замену конструкций и оборудования.

*Вариант 1 – одиночная стержневая молниезащита.*

Высота полная стержневого молниеотвода составляет  $h = 15$  м. Защищаемое сооружение имеет высоту  $h_x = 5$  м. Среднегодовое число ударов молнии для данной области составляет  $n = 2 \frac{1}{\text{км}^2 \cdot \text{год}}$ . Необходимо определить параметры зоны А и Б молниезащиты и представить их графически. Затем

определите габаритные размеры защищаемого объекта и оценить возможность его поражения молнией.

1) Определим параметры молниезащиты для зон А и Б.

Зона А:

Для начал найдем высоту вершины:

$$h_0 = 0,85 \cdot h; \quad (6.1)$$

$$h_0 = 0,85 \cdot 13 = 11,05 \text{ м.}$$

Защитный радиус на уровне земли:

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h)h; \quad (6.2)$$

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 13)13 = 13,96 \text{ м.}$$

Радиус защиты на уровне земли:

$$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h)(h - 1,2h_x); \quad (6.3)$$

$$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 13)(13 - 1,2 \cdot 5) = 7,51 \text{ м.}$$

Высота стержневого молниеприемника:

$$h_m = h - h_0; \quad (6.4)$$

$$h_m = 13 - 11,05 = 1,95 \text{ м.}$$

Активная высота молниеотвода:

$$h_a = h - h_x; \quad (6.5)$$

$$h_a = 13 - 5 = 8 \text{ м.}$$

Находим угол защиты:

$$\alpha^{(A)} = \arctg \frac{r_0}{h_0}; \quad (6.6)$$

$$\alpha^{(A)} = \arctg \frac{13,96}{11,05} = 51,6^\circ.$$

Зона Б:

Для начал найдем высоту вершины:

$$h_0 = 0,92 \cdot h; \quad (6.7)$$

$$h_0 = 0,92 \cdot 13 = 11,96 \text{ м.}$$

Защитный радиус на уровне земли:

$$r_0 = (1,5 \cdot h); \quad (6.8)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 13 = 19,5 \text{ м.}$$

Радиус защиты на уровне земли:

$$r_x = 1,5(h - 1,1h_x); \quad (6.9)$$

$$r_x = 1,5(13 - 1,1 \cdot 5) = 11,25 \text{ м.}$$

Высота стержневого молниеприемника:

$$h_m = 13 - 11,96 = 1,04 \text{ м.}$$

Активная высота молниеотвода:

$$h_a = 13 - 5 = 8 \text{ м.}$$

Находим угол защиты:

$$\alpha^{(B)} = \arctg \frac{19,5}{11,96} = 58,48^\circ.$$

2) Определяем габаритные значения в каждой зоне молниезащиты.

Зона А:

$$\varphi^{(A)} = \arcsin \frac{B}{2r_x^{(A)}}; \quad (6.10)$$

$$\varphi^{(A)} = \arcsin \frac{10}{2 \cdot 7,51} = 41,74^\circ.$$

$$\cos \varphi^{(A)} = \cos 41,74^\circ = 0,74. \quad (6.11)$$

$$A^{(A)} = 2r_x^{(A)} \cdot \cos \varphi^{(A)}; \quad (6.12)$$

$$A^{(A)} = 2 \cdot 7,51 \cdot 0,74 = 11,1 \text{ м.}$$

$$A \times B \times H = 11,1 \times 10 \times 13.$$

Зона Б:

$$\varphi^{(B)} = \arcsin \frac{B}{2r_x^{(B)}}; \quad (6.13)$$

$$\varphi^{(B)} = \arcsin \frac{10}{2 \cdot 11,25} = 26,4^\circ.$$

$$\cos \varphi^{(B)} = \cos 26,4^\circ = 0,89. \quad (6.14)$$

$$A^{(B)} = 2r_x^{(B)} \cdot \cos \varphi^{(B)}; \quad (6.15)$$

$$A^{(B)} = 2 \cdot 11,25 \cdot 0,89 = 20 \text{ м.}$$

$$A \times B \times H = 20 \times 10 \times 13.$$

3) Рассчитываю среднегодовое число ударов молний:

$$N_A = [(B + 6h_x)(A^{(A)} + 6h_x) - 7,7h_x^2]n \cdot 10^{-6}; \quad (6.16)$$

$$N_A = [(10 + 6 \cdot 5)(11,1 + 6 \cdot 5) - 7,7 \cdot 5^2] \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,0029 \text{ поражений.}$$

$$N_B = [(B + 6h_x)(A^{(B)} + 6h_x) - 7,7h_x^2]n \cdot 10^{-6}; \quad (6.17)$$

$$N_B = [(10 + 6 \cdot 5)(20 + 6 \cdot 5) - 7,7 \cdot 5^2] \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,0036 \text{ поражений.}$$

В зоне Б количество поражений в год больше.

В масштабе изображаются зоны А и Б на рисунке 6.10.

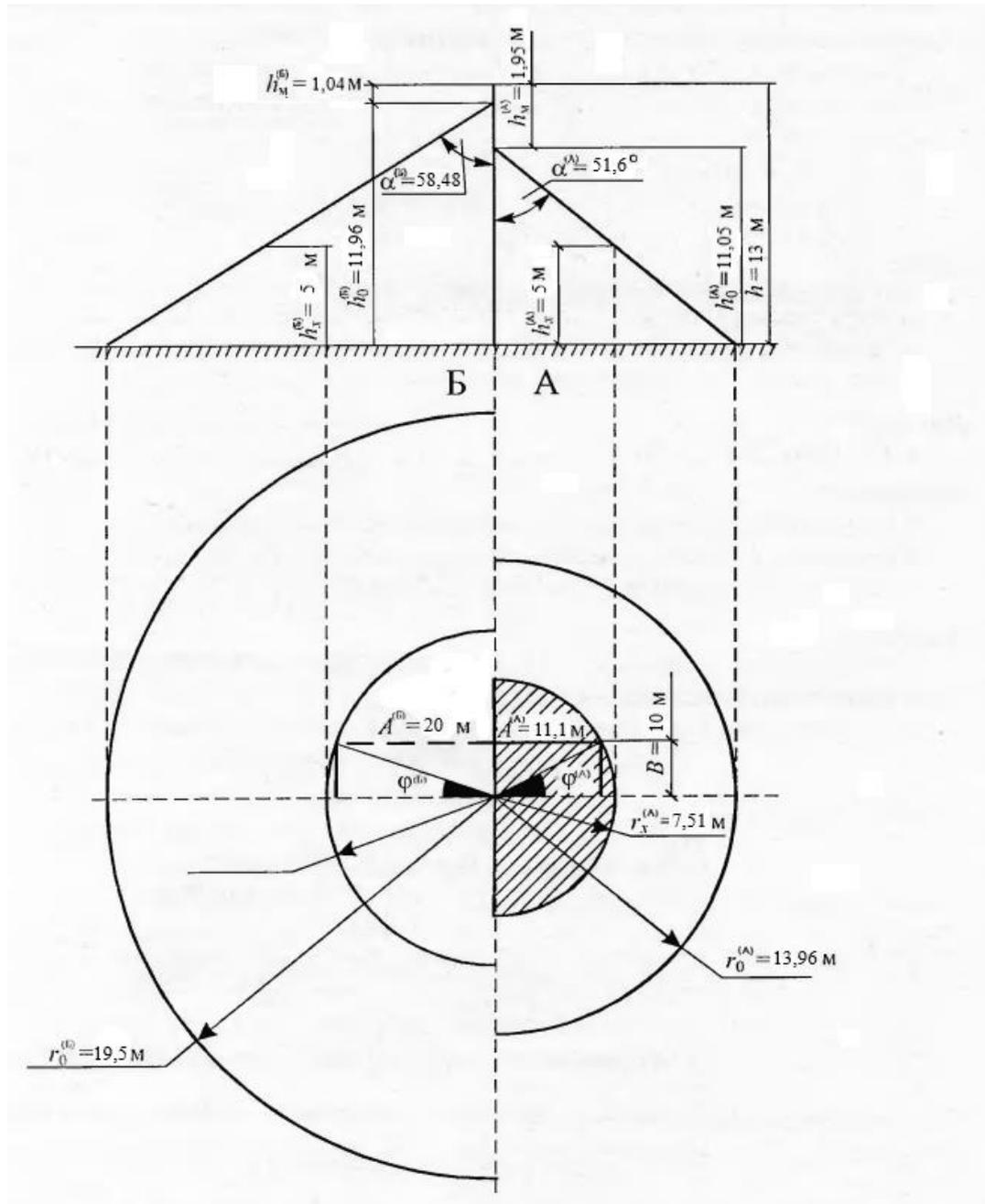


Рисунок 6.10 – Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

*Вариант 2. Многократная стержневая молниезащита.*

Высота защищаемого сооружения составляет  $h_x = 5$  м. Расстояние между двумя стержневыми молниеотводами равно  $L = 50$  м. Среднегодовое число ударов молнии для данной области составляет  $n = 2 \frac{1}{\text{км}^2 \cdot \text{год}}$ .

1) Первым делом необходимо найти полную высоту молниеотвода:

$$h = \frac{h_x + 0,14L}{1,13}; \quad (6.18)$$

$$h = \frac{5 + 0,14 \cdot 50}{1,13} = 10,62 \text{ м.}$$

Так как  $r_{cx} > 0$ , то примем  $h = 13$  м.

Высота вершины:

$$h_0 = 0,92 \cdot h; \quad (6.19)$$

$$h_0 = 0,85 \cdot 13 = 11,96 \text{ м.}$$

Ширина средней части молниеотвода на высоте защищаемого объекта:

$$r_x = 1,5 \left( h - \frac{h_x}{0,92} \right); \quad (6.20)$$

$$r_x = 1,5 \left( 13 - \frac{5}{0,92} \right) = 11,35 \text{ м.}$$

Высота средней части стержневого молниеотвода:

$$h_c = h_0 - 0,14(L - h); \quad (6.21)$$

$$h_c = 11,96 - 0,14(50 - 13) = 6,78 \text{ м.}$$

Защитный радиус на уровне земли:

$$r_0 = 1,5h; \quad (6.22)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 13 = 19,5 \text{ м.}$$

Длина зоны средней части молниеотвода на уровне защищаемого сооружения:

$$r_{cx} = r_0(h_c - h_x) \frac{1}{h_c}; \quad (6.23)$$

$$r_{cx} = 19,5(6,78 - 5) \frac{1}{6,78} = 5,12 \text{ м.}$$

Ширина средней части многократного стержневого молниеотвода на уровне земли:

$$r_c = r_0 = 15,84 \text{ м}$$

Высота средней части стержневого молниеотвода:

$$h_{c2} = h_0 - 0,14(L - h); \quad (6.24)$$

$$h_{c2} = 11,96 - 0,14(50 - 13) = 6,78 \text{ м.}$$

Ширина средней части молниеотвода на уровне земли:

$$r_c = r_0 \left( \frac{h_{c2} - h_x}{h_{c2}} \right); \quad (6.25)$$

$$r_c = 19,5 \left( \frac{6,78 - 5}{6,78} \right) = 5,12 \text{ м.}$$

Значения полученные при расчете отобразим на рисунке 6.11.

2) Рассчитываем длину и ширину сооружения:

$$A = L + 2r_{cx}; \quad (6.26)$$

$$A = 50 + 2 * 5,12 = 60,24 \text{ м.}$$

$$B = L + 2r_x; \quad (6.27)$$

$$B = 50 + 2 * 11,35 = 72,7 \text{ м.}$$

Принимаю в целых значениях:

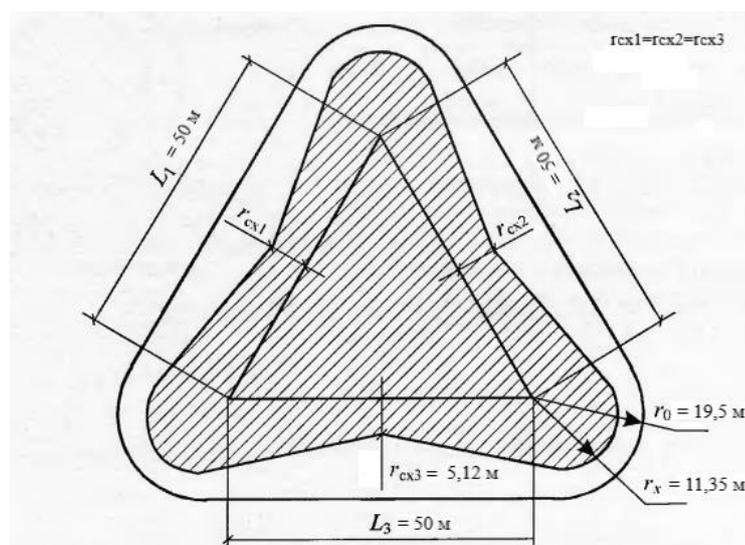
$$A=60,24 \text{ м, } B=72,7 \text{ м.}$$

$$A \times B \times H = 60,24 \times 72,7 \times 5 \text{ м.}$$

3) Рассчитываю среднегодовое число ударов молний:

$$N = [(B + 6h_x)(A + 6h_x) - 7,7h_x^2]n \cdot 10^{-6}; \quad (6.28)$$

$$N = [(72,7 + 6 \cdot 5)(60,24 + 6 \cdot 5) - 7,7 \cdot 5^2] \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,018 \text{ поражений.}$$



**Рисунок 6.11 – Зона защиты многократного стержневого молниеотвода**

Целесообразным выбором варианта для защиты от атмосферных перенапряжений будет многократные стержневые молниеотводы, так как по значению среднегодовому числу ударов молний  $N$  второй вариант более эффективен, пусть и незначительно. Это значит, что попаданий молний будет на 0,001 раз меньше. В зависимости от дополнительных параметров, можно взять другой молниеотвод.

К данной системе молниезащиты требуется ограничитель перенапряжений (ОПН). Для данных условий можно взять ОПН-3,3-О1, который упоминался выше. Использование разрядников не является целесообразным, так как по своей работе они похожи, но ОПН является более эффективной защитой. Соответственно, для данной сети можно использовать только ОПН.

Ограничитель перенапряжений:

Тип – ОПН-3,3-О1;

Класс напряжения – 3,3 кВ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были вычислены электрические нагрузки по методу «Упорядоченных диаграмм», данные которой были внесены в таблицу 2. Затем было определено количество цеховых трансформаторов. В ходе расчета целесообразное количество трансформаторов 11. Далее вычислено реактивное значение мощности необходимое для передачи в сеть напряжением до 1 кВ через трансформаторы. По этому значению в итоге была выбрана тип конденсаторной установки – УКМФ 71-0,4-200-25-УЗ. Приведена таблица 3 с распределением низковольтной нагрузки по цеховым трансформаторным подстанциям.

При расчете на шинах 10 кВ электрических нагрузок были определены активные, реактивные мощности для каждой трансформаторной подстанции. Было определено количество синхронных двигателей цеха (10) и был выбран тип – СДКП2-18-26-16УХЛ4. После расчет на шинах 10 кВ ГПП компенсации реактивной мощности и выбор двух компенсирующих установок УКРМ-6,3(10,5)-2700-1800+4\*225)УЗ. Также был проведен расчет низковольтной и высоковольтной нагрузки и внесен в таблицу 5.

Технико-экономические расчеты необходимы для последующего вычисления оптимального варианта внешнего электроснабжения, параметров электросети, поэтому при технико-экономическом расчете было сравнение двух вариантов электроснабжения завода. Целесообразный вариант внешнего электроснабжения - на 110 кВ. В этом варианте был подобран трансформатор типа ТРДН - 10000/110, провод марки АС-70 и тип выключателя ЛТВ145, которые соответствуют расчетным параметрам.

Одним из важных расчетов был расчет токов короткого замыкания. Такой расчет был проведен для напряжения 10 кВ с учетом подпитки от СД. Суммарный ток КЗ на 10 кВ – 4,22 кА.

При выборе оборудования были подобраны выключатели типа ВВТЭ-10-20/630УХЛ2 для магистрали ГПП (ТП1-ТП 2, ТП 3-ТП 4, ТП 5-ТП 6) и такой же выключатель для линии ГПП-СД-6. К ним были подобраны разъединители марки РВРЗ-Ш-10-2000УЗ. Трансформаторы тока на секционном выключателе шин ГПП ТЛ-10-0,5/10Р-1000/5, на каждой линии ГПП выбраны трансформаторы тока серии ТЛ, кроме линии ГПП-СД6 – подобрана серия ТОЛ. Также взят трансформатор напряжения НТМИ-10-66УЗ и ограничитель перенапряжения ОСР-12-FF. Далее подобраны силовые кабели отходящих линий марка серии ААШв для каждой магистрали ГПП и СД. Результаты внесены в таблицу 16.

Для расчета молниезащиты взяты два варианта молниеприемников и их количества. Первым вариантом была выбрана двойная тросовая молниезащита, а второй - многократная стержневая. При расчетах было выяснено, что огромной разницы между ними нет, поэтому стоит опираться и на другие параметры, кроме среднегодового числа ударов молний и покрытия. Решено взять второй вариант, так как он, пусть и не значительно, но лучше по значению среднегодового числа

и покрытия (площадь и высота защищаемой территории). Помимо этого, был взят в качестве ограничителя перенапряжений тип ОПН-3,3-О1

Главной задачей молниезащиты является устранение угрозы повреждения оборудования и вреда для человека от атмосферных перенапряжений. Поэтому требования к молниезащите также велики как для предприятий 1й категории опасности, так и для производственных предприятий меньшей категории опасности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 416 с.

2 Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.

3 Ополева, Г.Н. Электроснабжение промыш.предприятий и городов: Учебное пособие / Г.Н. Ополева. - М.: Форум, 2018. - 350 с.

4 Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.

5 Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование / Г.В. Коробов. - СПб.: Лань, 2014. - 192 с.

6 Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин. - М.: Радио и связь, 2012. - 328 с.

7 Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. - М.: Форум, 2012. - 496 с.

8 Андреев, В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах / В.А. Андреев. - М.: Высшая школа, 2014. - 256 с.

9 Свириденко, Э. А. Основы электротехники и электроснабжения / Э.А. Свириденко, Ф.Г. Китунович. - М.: Техноперспектива, 2016. - 436 с.

10 Правила. Методики. Инструкции. Выпуск 18. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - М.: Энергосервис, 2016. - 308 с.

11 Устройство молниезащиты зданий и сооружений СП РК 2.04-103-2013 Издание официальное.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**Уточненный расчет силовых нагрузок по цехам завода напряжением 0,4 кВ**

№ Цехов	Наименование цехов	Кол-во ЭП, п	Установленная мощность		m	K <sub>и</sub>	Cosφ/ tgφ	Средние нагрузки		n <sub>э</sub>	K <sub>м</sub>	Расчетные нагрузки		
			$\frac{P_{в\ min}}{P_{в\ max}}$	ΣP <sub>н</sub>				P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Шамотный цех №1 а) силовая	50	1-30	970	>3	0,4	0,7/0,1	388	38,8	64,6667	1,13	438,44	38,8	440,153
	б) осветительная											43,844	3,88	44,015
	Итого											482,284	42,68	484,168
2	Шамотный цех №2 а) силовая	60	1-40	1520	>3	0,4	0,7/0,1	608	608	76	1,12	680,96	608	912,891
	б) осветительная											68,096	60,8	91,289
	Итого											749,056	668,8	1004,18
3	Динасовый цех а) силовая	70	1-50	1800	>3	0,5	0,75/0,88	900	792	72	1,1	990	792	1267,82
	б) осветительная											99	79,2	126,78
	Итого											1089	871,2	1394,6

Продолжение приложения А

4	Смесительно-формировочный цех	70	1-50	2100	>3	0,4	0,7/1	840	840	84	1,06	890,4	840	1224,1
	а) силовая													
	б) осветительная											89,04	84	122,41
	Итого											979,44	924	1346,51
5	Цех вращающихся частей	10	10-100	650	>3	0,6	0,88/0,54	390	210,6	13	1,2	468	210,6	513,202
	а) силовая													
	б) осветительная											46,8	21,06	51,32
	Итого											514,8	231,66	564,522
6	Компрессорная:	10	10-20	120	<3	0,6	0,8/0,75	72	54	12	1,13	81,36	54	97,6496
	а) 0,4 кВ													
	в) осветительная											8,136	5,4	9,76
	Итого											89,49	59,4	107,4
7	Цех пылеулавливания, газоочистки	25	1-20	360	>3	0,46	0,7/1	165,6	165,6	36	1	165,6	165,6	234,194
	а) силовая													
	б) осветительная											16,56	16,56	23,419
	Итого											182,16	182,16	257,613
8	Цех подготовки глины	40	1-28	680	>3	0,4	0,75/0,88	272	239,36	48,5714	1,15	312,8	239,36	393,874
	а) силовая													
	б) осветительная											31,28	23,936	39,387
	Итого											344,08	263,296	433,261

**Продолжение приложения А**

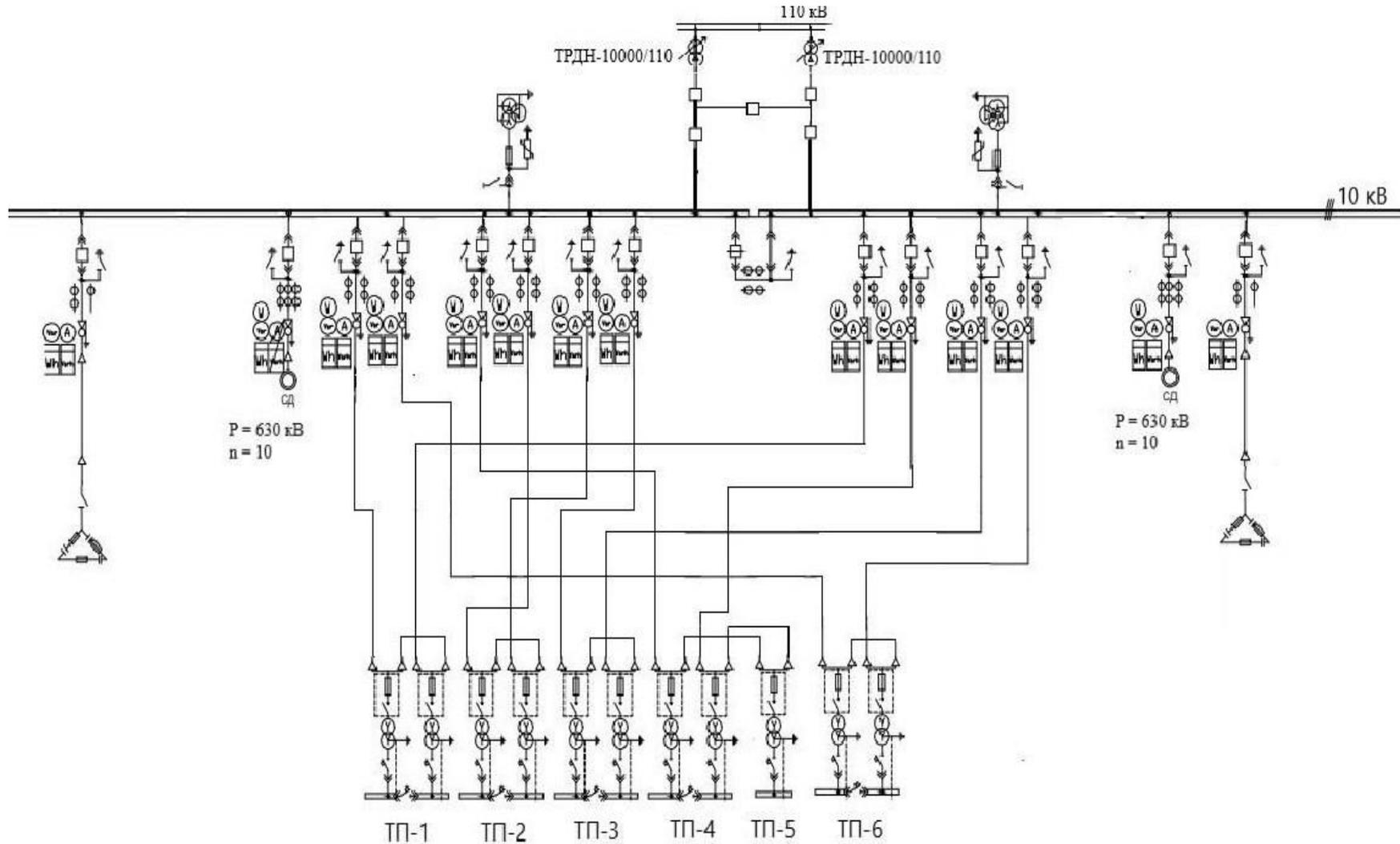
9	Цех помола шамота	50	20-50	1500	<3	0,55	0,8/0,75	825	618,75	60	1,12	924	618,75	1112,04
	а)силовая													
	б) осветительная													92,4
	Итого											1016,4	680,625	1223,24
10	Склад сырья	15	5-20	120	>3	0,25	0,6/1,3	30	39	12	1,6	48	39	61,8466
	а)силовая													
	б) осветительная													4,8
	Итого											52,8	42,9	68,0266
11	Механический цех	40	1-25	370	>3	0,2	0,65/1,2	74	88,8	29,6	1,22	90,28	88,8	126,633
	а)силовая													
	б) осветительная													9,028
	Итого											99,308	97,68	139,293
12	Заготовительно-штамповочный цех	35	5-70	400	>3	0,2	0,6/1,3	80	104	11,4286	1,82	145,6	104	178,928
	а)силовая													
	б) осветительная													14,56
	Итого											160,16	114,4	196,818
13	Лаборатория	20	1-20	250	>3	0,45	0,75/0,88	112,5	99	25	1,18	132,75	99	165,601
	а)силовая													
	б) осветительная													13,27
	Итого											146,02	108,9	182,161

**Продолжение приложения А**

14	Стекольный цех	40	1-40	850	>3	0,5	0,75/0,88	425	374	42,5	1,14	484,5	374	612,059
	а) силовая													
	б) осветительная													
	<b>Итого</b>											532,95	411,4	673,259
15	Склад готовой	10	1-10	60	>3	0,2	0,5/1,73	12	20,76	12	1,18	14,16	20,76	25,1293
	продукции													
	а) силовая													
	б) осветительная											1,416	2,076	2,512
	<b>Итого</b>											15,576	22,836	27,6413
16	Заводоуправление,	50	1-40	560	>3	0,45	0,75/0,88	252	221,76	28	1,18	297,36	221,76	370,945
	столовая													
	а) силовая													
	б) осветительная											29,736	22,176	37,094
	<b>Итого</b>											327,096	243,936	408,039
17	Цех туннельных	40	10-50	1480	>3	0,6	0,9/0,48	888	426,24	59,2	1	888	426,24	985
	печей													
	а) силовая													
	б) осветительная											88,8	42,624	98,5
	<b>Итого</b>											976,8	468,864	1083,5
	Освещение территории											705,21	513,19	872,176
	<b>Итого</b>											7757,42	5645,5	9594,23

## Приложение Б

### Однолинейная схема электроснабжения завода по производству огнеупоров



АС-70 ОСП-12-NFF

ТОЛК-6

A	Э-350
Wh	СА3-И681
Varh	СР4-И689
W	Д-355
Var	Д-345

Кабели к СД

S = 7000 кВА,  
ААШв-10-(3x70),  
I = 205 А

Кабели к КТП

S = 1000 кВА,  
ААШв-10 (3x50),  
I = 205 А

P = 630 кВт  
n = 10

P = 630 кВт  
n = 10

ТП-1 ТП-2 ТП-3 ТП-4 ТП-5 ТП-6