

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения предприятия ООО «Айрон Кинг» г. Верхнеуральск

Студент

М.С. Леонтьев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## **Аннотация**

Целью работы является проектирование системы электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск).

В результате выполнения работы осуществлён расчёт электрических нагрузок, выбор количества и типов силовых трансформаторов на ГПП и цеховых ТП, определение их места расположения на территории предприятия, рассчитаны токи короткого замыкания, выбраны и проверены проводники и электрические аппараты спроектированной системы электроснабжения, рассчитан контур заземления цеховых ТП и молниезащита ГПП.

В разработанной системе электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) неукоснительно соблюдаются установленные нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

В расчётно-пояснительной записке представленной работы 81 страница.

Также разработана графическая часть работы, состоящая из шести чертежей формата А1, выполненные в графическом редакторе AutoCAD.

## **Abstract**

The title of the graduation work is Design of the power supply system for LLC "Iron King" in Verkhneuralsk.

The senior thesis consists of an introduction, five parts, a conclusion, tables, the list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of the work is to carry out calculations of electrical loads, select the number and types of power transformers at main step-down substation and shop substation, determine their location on the territory of the enterprise, calculate short-circuit currents, select and check the conductors and electrical devices of the designed power supply system, calculate the ground loop of shop substation and lightning protection of the main step-down substation.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: analysis of the initial data of LLC "Iron King"; development of an enterprise power supply system; occupational safety and health; calculation of substation relay protection; calculation of lightning protection of a substation.

Summing up, we would like to emphasize that in the developed power supply system of LLC "Iron King" in Verkhneuralsk strictly complies with the established standards for quality of electricity transmitted to consumers, as well as with reliability, efficiency, safety and environmental friendliness.

## Содержание

Введение .....	5
1 Анализ исходных данных предприятия ООО АЙРОН КИНГ .....	7
1.1 Общая характеристика предприятия .....	7
1.2 Характеристика технических условий цехов предприятия.....	9
2 Разработка системы электроснабжения предприятия .....	14
2.1 Построение схем внутривзаводской и внутрицеховой сети. Выбор напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения .....	14
2.2 Расчёт электрических нагрузок .....	20
2.3 Определение условного центра электрических нагрузок цехов и всего предприятия. Расчёт картограммы нагрузок .....	25
2.4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП с учётом компенсации реактивной мощности .....	28
2.5 Выбор месторасположения, числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП с учётом компенсации реактивной мощности.....	31
2.6 Расчёт токов короткого замыкания .....	39
2.7 Выбор и проверка сечения проводников .....	45
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов .....	51
3 Техника безопасности и охрана труда .....	56
3.1 Обеспечение техники безопасности и охраны труда на предприятии .....	56
3.2 Расчёт защитного заземления .....	60
4 Расчет релейной защиты подстанции .....	64
5 Расчет молниезащиты подстанции.....	74
Заключение .....	78
Список используемой литературы .....	80

## **Введение**

Системы электроснабжения промышленных предприятий являются важнейшим звеном системы электроснабжения.

Поэтому они требуют особенно повышенных требований к надёжности и электробезопасности при осуществлении проектирования, а также при выполнении работ, связанных с монтажом, эксплуатацией и ремонтом.

Основными задачами, которые решаются на стадии проектирования для систем электроснабжения всех типов – это обеспечения установленного нормативами качества электроэнергии, а также надёжности, электробезопасности и экономичности системы электроснабжения.

Целью настоящей работы является разработка проекта системы электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск), согласно задания и исходных данных.

Объектом исследования является система электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск).

Предметом исследования являются схема электроснабжения, а также электрические сети, аппараты и оборудование системы электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск).

Актуальность работы обусловлена требованиями нормативных документов к проектируемым системам электроснабжения промышленных предприятий, а именно: обеспечение необходимого уровня надёжности, экономичности и электробезопасности новых объектов, проектируемых и вводимых в эксплуатацию [1-4].

Структура работы представлена пятью главами расчётно-пояснительной записки и шестью листами графической части.

Выполнение работы предусматривает решение следующих основных задач:

- анализ исходных данных предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) с характеристикой помещений и технических условий, а также характеристикой оборудования предприятия;
- непосредственная разработка системы электроснабжения проектируемого предприятия, представленная выбором и обоснованием схемы электроснабжения;
- построение схем внутривародской и внутрицеховой сети, выбор напряжения внутреннего электроснабжения;
- определение расчётной осветительной и силовой нагрузки по отдельным цехам и по предприятию в целом, определение центра электрических нагрузок предприятия, расчёт картограммы нагрузок;
- определение месторасположения понизительных подстанций, выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей главной понизительной подстанции (ГПП) и цеховых трансформаторных подстанциях (ТП), выбор компенсирующих устройств на ТП;
- выбор и проверка сечения проводников,
- расчёт токов короткого замыкания,
- выбор и проверка электрических аппаратов;
- разработка вопросов электробезопасности и экологических вопросов, а также непосредственный расчёт защитного заземления;
- расчёт релейной защиты и молниезащиты главной понизительной подстанции проектируемого предприятия.

Все основные задачи в работе решаются на основе материалов, приведённых в рекомендованной справочной и учебной технической литературе, а также в нормативных документах согласно заданию на работу.

# **1 Анализ исходных данных предприятия ООО АЙРОН КИНГ**

## **1.1 Общая характеристика предприятия**

Объектом проектирования является система электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск). Предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) специализируется на производстве различных видов спортивного инвентаря и тренажёров различного типа (силовых, спортивных, кардиотренажёров).

Вся перечисленная продукция производится в соответствующих производственных цехах, которые являются основой производства предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск), для этой цели используются: цех производства силовых тренажёров, цех производства спортивного инвентаря, цех производства спортивного оборудования, цех производства спортивных тренажёров, цех производства кардиотренажёров. Здесь непосредственно осуществляется основной технологический процесс, заключающийся в производстве готовой продукции, её дальнейшей покраске, маркировке, приёмке, фасовке и упаковке, утилизации отходов и её транспортировке в склад готовой продукции.

На территории предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск), согласно исходным данным, расположены следующие цеха, выполняющие вспомогательную роль в технологическом процессе производства: механический цех, строительный – монтажный участок, электроцех, заводоуправление. Для обеспечения технологического процесса энергоносителями имеются котельная и насосная. Все электроприемники предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) работают на переменном напряжении 380/220 В. Исключение составляют высоковольтные двигатели котельной, работающие на номинальном напряжении 10 кВ.

Исходные данные к работе приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск)

Номер по плану	Наименование цехов	Количество электро–приемников, шт.	Установленная мощность, кВт	
			одного эл. прием., Pн	суммарная, Pн
1	Цех производства силовых тренажёров	100	1,1–30	900
2	Цех производства спортивного инвентаря	40	1,1–40	520
3	Цех производства спортивного оборудования	40	1,1-40	590
4	Цех производства спортивных тренажёров	100	1,1-50	1000
5	Цех производства кардиотренажёров	40	3-22	390
6	Котельная	30	3-18,5	190
7	Механический цех	50	3-27	660
8	Строительно – монтажный участок	100	1-50	930
9	Электроцех	50	1-18,5	200
10	Заводоуправление	50	1-11	150
11	Гараж	25	1-10	83
12	Склад готовой продукции	20	1,1-10	70
13	Насосная:			
	а) 0,4 кВ;	10	1,1–10	40
	б) АД 10 кВ	2	400	800

План расположения цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) представлен на рисунке 1.



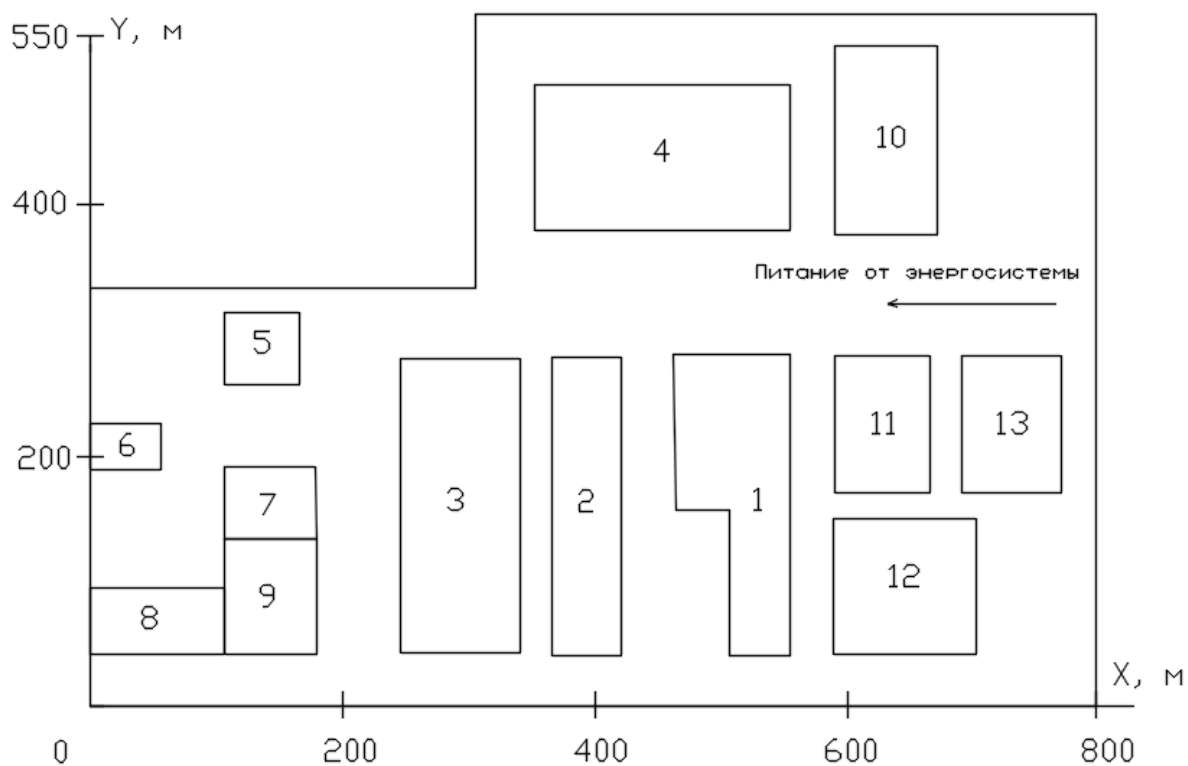


Рисунок 1 – План расположения цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ  
(г. Верхнеуральск)

## 1.2 Характеристика технических условий цехов предприятия

Известно, что надежность электроснабжения потребителей должна соответствовать требованиям [1], согласно которым электроприемники делятся на первую, первую особую, вторую и третью категории по надежности электроснабжения. Согласно этому, проводится разделение цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) на категории надёжности.

К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные цеха предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск), а именно: цех производства силовых тренажёров, цех производства спортивного инвентаря, цех производства спортивного оборудования, цех производства спортивных тренажёров, цех производства кардиотренажёров.

К потребителям II категории относятся цеха, которые обеспечивают и поддерживают основной технологический процесс: котельная и насосная.

К потребителям III категории относятся все остальные цеха и подразделения, не принимающие непосредственного участия в основном технологическом процессе производства, это: механический цех, строительно - монтажный участок, электроцех, заводоуправление, гараж, склад готовой продукции. Согласно исходным данным, электроснабжение предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) осуществляется от трансформаторной подстанции энергосистемы, расположенной в 6 км от предприятия. Результаты проведённого анализа по категориям надёжности цехов предприятия сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Категории цехов предприятия по надёжности электроснабжения

Номер п/п	Наименование цеха	Категория надёжности
1	Цех производства силовых тренажёров	I
2	Цех производства спортивного инвентаря	I
3	Цех производства спортивного оборудования	I
4	Цех производства спортивных тренажёров	I
5	Цех производства кардиотренажёров	I
6	Котельная	II
7	Механический	III
8	Строительно - монтажный участок	III
9	Электроцех	III
10	Заводоуправление	III
11	Гараж	III
12	Склад готовой продукции	III
13	Насосная	II

Цеха предприятия, рассматриваемого в работе, представляют собой строения, собранные из железобетонных конструкций, стены и кровля изготовлены из сборных панелей. По степени пожароопасности помещения цехов проектируемого предприятия относятся к негорячим объектам, т.к. стены и крыша выполнены из железобетонных блоков, а полы залиты бетонной смесью. Указанные материалы не горят и не поддерживают горения.

Проводится описание характеристики среды цехов предприятия. Применение химических веществ и соединений для получения готовой продукции предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) считается опасной для здоровья людей и окружающей среды.

Известно, что производственные процессы, связанные с непосредственным производством тренажёров и спортивного инвентаря, в особенности на химической основе и (или) с добавлением химических компонентов (пластмасс, лаков, красок, герметиков на синтетической основе и др.), сопровождаются применением и выделением в окружающую среду массы вредных веществ, опасных для флоры и фауны. Отклонение от допустимых норм выброса токсинов в атмосферу и сточные воды на предприятии может быть значительной. Вентиляционные выбросы производственных цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) содержат пары химических красителей, растворителей, формальдегид, сероводород и углерод, а также соединения тяжелых металлов. Загрязнение этими веществами атмосферы и сточных вод приводит к серьезной экологической проблеме.

В основных производственных цехах, как-то: цех производства силовых тренажёров, цех производства спортивного инвентаря, цех производства спортивного оборудования, цех производства спортивных тренажёров, цех производства кардиотренажёров, среда помещений – химически активная, агрессивная, так как используются химикаты и органические и неорганические

соединения, оказывающие существенное влияние на изоляцию и токоведущие части электроустановок, а также на самочувствие людей.

Характеристика среды производственных помещений предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика производственной среды цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск)

Номер по плану	Наименование цеха	Производственная среда
1	Цех производства силовых тренажёров	Хим. активная
2	Цех производства спортивного инвентаря	Хим. активная
3	Цех производства спортивного оборудования	Хим. активная
4	Цех производства спортивных тренажёров	Хим. активная
5	Цех производства кардиотренажёров	Хим. активная
6	Котельная	Жаркая
7	Механический	Нормальная
8	Строительно - монтажный участок	Пыльная, сухая
9	Электроцех	Нормальная
10	Заводоуправление	Нормальная
11	Гараж	Нормальная
12	Склад готовой продукции	Нормальная
13	Насосная	Влажная

Далее проводится характеристика цехов и предприятия в целом по условиям электробезопасности.

Известно, что цеха по условиям электробезопасности делятся на следующие группы: безопасные, с повышенной опасностью и особо опасные.

С данной точки зрения, рассматривая цеха предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск), можно сделать следующий вывод:

- к безопасным цехам по условиям электробезопасности относятся все цеха с нормальной производственной средой, а именно: механический цех, электроцех, заводоуправление, гараж, склад готовой продукции;
- к цехам с повышенной опасностью по условиям электробезопасности относятся цеха с влажной производственной средой (насосная); все производственные цеха с химически активной средой – при наличии соответствующей вытяжной вентиляции (цех производства силовых тренажёров, цех производства спортивного инвентаря, цех производства спортивного оборудования, цех производства спортивных тренажёров, цех производства кардиотренажёров), котельная (жаркая среда) и строительный участок (пыльная сухая среда).

В результате выполнения первого раздела работы, проведён анализ исходных данных предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск).

Исходя из приведённых условий, характеристик технологического процесса и оборудования, в работе необходимо спроектировать систему электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) согласно основным требованиям [1-4] и техническим условиям, приведённым в работе ранее.

Особое внимание при разработке схемы электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) следует обратить на питание цехов согласно их принятой категории надёжности, а также требованиям обеспечения качества электроэнергии, безопасности, экономичности и экологичности согласно [1-4].

## **2 Разработка системы электроснабжения предприятия**

### **2.1 Построение схем внутриводской и внутрицеховой сети. Выбор напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения**

Требования [1-4], непосредственно предъявляемые к схемам электроснабжения проектируемого предприятия ООО АЙРОН КИНГ:

- максимальная близость потребителей электроэнергии к своему источнику питания;
- сквозное секционирования всех звеньев системы электроснабжения с установкой, при необходимости, устройств автоматики, обеспечивающих резервирование (например, АВР);
- обеспечение оптимального режима работы спроектированной системы электроснабжения (рекомендуется отдельный режим работы секций при установке двух трансформаторов или иных источников);
- обеспечение необходимой надёжности потребителей электроэнергии с учётом резервирования для I и II категорий в нормальном, форсированном и послеаварийном режимах;
- обеспечение наглядности, безопасности и необходимой защиты, автоматизации на всех уровнях системы электроснабжения;
- выбранные схемы должны обеспечивать установленное нормируемое качество электрической энергии в пределах нормально – допустимых значений.

Также одним из основных аспектов при разработке схем электрических сетей предприятий является экономичность. Помимо этого, на всех ступенях схемы должна быть обеспечена надёжная защита и коммутация электрической сети, для чего необходимо выбрать электрические аппараты, в полной мере

соответствующие выбранной схеме и техническим условиям, и проверить всё выбранное оборудование на термическую и электродинамическую стойкость [5]. Соблюдение приведённых выше требований, предъявляемых к схемам электроснабжения нормативными документами [5], позволит существенно повысить надёжность системы электроснабжения и оптимизировать технологический процесс производства предприятия. При этом в системе электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) следует выделить внешнезаводскую, внутризаводскую и внутрицеховую системы электроснабжения. Для каждой из них необходимо провести соответствующие расчёты и обосновать выбор схем, электрических сетей и аппаратов, а также проверить принятые решения по условиям работы в нормальном, аварийном и послеаварийном режимах работы системы электроснабжения.

В работе принимается радиальная схема внешнего электроснабжения, так как на предприятия ООО АЙРОН КИНГ имеется значительное число потребителей I и II категории надёжности, требующих двух независимых источников питания по радиальной схеме. По этой же причине в работе принимается двухтрансформаторная главная понизительная подстанция (ГПП). По условию электроснабжение предприятия ООО АЙРОН КИНГ осуществляется от районной ПС-220/110/35 кВ энергосистемы на напряжении 110 или 35 кВ, расположенной в 6 км. При этом для сокращения вычислений можно оставить эти два варианта, т.е. можно запитать предприятие как от напряжения 35 кВ, так и от напряжения 110 кВ указанной районной ПС. В работе для внешнезаводской сети главной понизительной подстанции (ГПП) выбирается схема соединений «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», которая применяется при двух трансформаторах с нерасщепленными обмотками НН на высших напряжениях понизительных ПС 35-110 кВ [3,5,6]. Выбранная в работе схема соединений на стороне ВН ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ показана на рисунке 2.

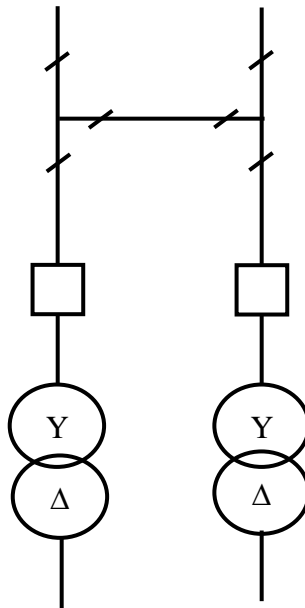


Рисунок 2 – Схема соединений на стороне ВН ГПП предприятия  
(два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой)

В работе принимается схема РУ 10 кВ с необходимым уровнем резервирования – одиночная секционированная на две секции система сборных шин с устройством автоматического включения резерва (АВР), показанная на рисунке 3.

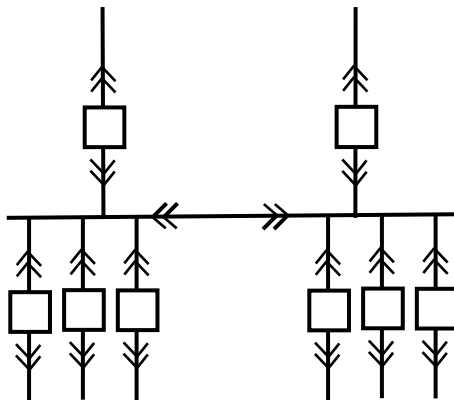


Рисунок 3 – Схема внутризаводской сети на стороне 10 кВ  
(одиночная секционированная на две секции система сборных шин)



Внутрицеховая сеть предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) разделяется на питающую и распределительную.

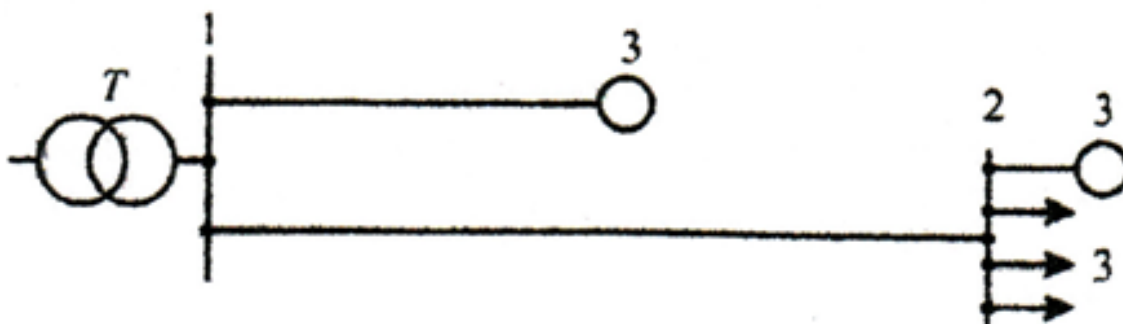
Внутрицеховая сеть для потребителей I и II категорий надёжности проектируется с наличием на цеховых трансформаторных подстанциях (ТП) двух трансформаторов [1,2].

Цеха, относящиеся к III категории надёжности, могут быть запитаны от одного источника питания по радиальной или магистральной схеме (в зависимости от их нагрузки и расположения на территории предприятия) на напряжении 0,38/0,22 кВ (если позволяет нагрузка).

Внутрицеховая сеть напряжением 0,38/0,22 кВ в работе выполняется по радиальной схеме, обладающая рядом преимуществ (в частности, - высокой надёжностью, а также удобством монтажа, эксплуатации и ремонта) [1,2].

Питание силовых электроприемников цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) непосредственно осуществляется от силовых пунктов 0,38/0,22 кВ (СП) [1,2].

При этом отдельные мощные электроприёмники подключаются к шинам НН ТП напрямую (без использования СП). Схема внутрицеховой сети представлена на рисунке 4.



1 - РУ НН ТП-10/0,4 кВ; 2 - силовой пункт (СП); 3 – электроприёмник

Рисунок 4 – Схема внутрицеховой сети

Распределение электроприемников цеха по СП приводится в работе далее после выполнения соответствующих расчётов.

Для внутреннего электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) в работе выбраны напряжения 10 кВ (внутризаводское электроснабжение) и 0,38/0,22 кВ (внутрицеховое электроснабжение).

Далее в работе проводится предварительный выбор напряжения внешнего электроснабжения.

Известно, что величина напряжения внешнего электроснабжения предприятия определяется по формуле Стилла:

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{L + 16 \cdot P_{предпр}}, \quad (1)$$

где  $P_{предпр}$  – расчетная мощность предприятия с учетом потерь в трансформаторах ГПП и коэффициента разновременности максимума нагрузки отдельных цехов, МВт;

$L$  - расстояние от энергосистемы до ГПП, км;

$K_o$  – коэффициент разновременности нагрузок цехов; принимается значение  $K_o = 0,95 - 0,98$ ;

$K_n$  – коэффициент потерь в трансформаторах ГПП (при неизвестной мощности величину потерь в трансформаторе принимается  $K_n = 1,03-1,05$ ).

Расчётная мощность предприятия

$$P_{предпр.} = 1,05 \cdot 0,95 \cdot 6,523 = 6,51 \text{ МВт.}$$

По условию (1)

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{6 + 16 \cdot 6,51} = 45,55 \text{ кВ.}$$

Следовательно, для внешнего электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) выбирается напряжение 110 кВ.

Максимальное значение рабочего тока в питающей воздушной линии напряжением 110 кВ:

$$I_{\text{раб.маx}} = K_{\text{пер.}} \frac{S_{\text{ном.}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (2)$$

По условию (2)

$$I_{\text{раб.маx}} = 1,4 \frac{6851,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 25,2 \text{ A.}$$

Предварительно выбирается сечение питающей воздушной линии напряжением 110 кВ, которое будет применяться в дальнейшем для расчёта токов короткого замыкания. Для этого рассчитывается экономически эффективное сечение провода  $F_W$  и выбирается ближайшее номинальное сечение провода

$$F_W = \frac{I_{\text{раб.маx}}}{j_{\text{ЭК}}}, \text{ мм}^2, \quad (3)$$

По условию (3)

$$F_W = \frac{25,2}{1} = 25,2 \text{ мм}^2.$$

Для питающей воздушной линии напряжением 110 кВ принимается по условиям гололёда и коронирования минимально допустимое сечение провода, равное 70 мм<sup>2</sup>, следовательно, выбирается провод марки АС-70/11.

## 2.2 Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе проводится расчёт нагрузок цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск), который включает непосредственное определение расчетных силовой, осветительной и суммарной нагрузок по методу коэффициента спроса. Расчётная активная нагрузка силовых электроприёмников напряжением до 1 кВ, кВт:

$$P_p = K_c P_n, \quad (4)$$

где  $P_n$  – значение суммарной номинальной активной мощности силовых ЭП цеха, кВт;

$K_c$  – справочное значение коэффициента спроса ЭП цеха.

Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников до 1 кВ, квар:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  – средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности, соответствующий заданному  $\cos \varphi$  (справочные данные).

Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха, кВт:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (6)$$

где  $K_{c.o}$  – коэффициент спроса приемников освещения для светодиодных ламп [4];

$P_{н.о}$  – суммарная номинальная мощность приемников освещения, кВт.

При этом

$$P_{н.о} = P_{уд.о} F, \quad (7)$$

где  $P_{уд.о}$  – удельная установленная мощность осветительных приемников на  $1\text{ м}^2$  освещаемой площади цеха, кВт/м<sup>2</sup> [4];

$F$  – площадь цеха по генплану, м<sup>2</sup>.

Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников цеха

$$S_{п.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (8)$$

Расчётные активная и реактивная нагрузка силовых электроприёмников напряжением выше 1 кВ определяется по (4) и (5), а полная мощность

$$S_{п.} = \sqrt{P_{п.}^2 + Q_p^2}. \quad (9)$$

Расчетная полная нагрузка предприятия определяется по суммарным расчетным нагрузкам, включающим расчётные силовые и осветительные нагрузки, с учётом предварительных потерь мощности в цеховых трансформаторах и в трансформаторах ГПП. Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ определяются, соответственно, по приближенным соотношениям:

$$\Delta P_{тц} = 0,02 S_{п.н}, \text{ кВт}; \quad (10)$$

$$\Delta Q_{\text{ТЦ}} = 0,1S_{\text{р.н}}, \text{квар.} \quad (11)$$

Предварительные потери активной и реактивной мощности в силовых трансформаторах ГПП проектируемого предприятия ООО АЙРОН КИНГ:

$$\Delta P_{\text{Т.ГПП}} = 0,02S_{\text{р.}\Sigma}, \text{кВт}; \quad (12)$$

$$\Delta Q_{\text{Т.ГПП}} = 0,1S_{\text{р.}\Sigma}, \text{квар.} \quad (13)$$

В работе далее производится детальный расчёт следующих видов нагрузки, а именно: расчётной силовой нагрузки; расчётной осветительной нагрузки; расчётной суммарной нагрузки.

Каждый вид предполагает расчёт активной, реактивной и полной расчётных нагрузок. Результаты расчётов силовых нагрузок цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта силовых нагрузок цехов предприятия

№ цеха	Наименование	Силовая нагрузка					
		Рн, кВт	Кс	cosφ	tgφ	Рр, кВт	Qр, квар
Потребители электрической энергии до 1000 В							
1	Цех производства силовых тренажёров	900	0,8	0,9	0,484	720,00	348,71
2	Цех производства спортивного инвентаря	520	0,8	0,9	0,484	416,00	201,48
3	Цех производства спортивного оборудования	590	0,8	0,9	0,484	472,00	228,60
4	Цех производства спортивных тренажёров	1000	0,8	0,9	0,484	800,00	387,46
5	Цех производства кардиотренажёров	390	0,8	0,9	0,484	312,00	151,00
6	Котельная	190	0,65	0,7	1,020	123,50	126,00

Продолжение таблицы 4

№ цеха	Наименование	Силовая нагрузка					
		Р <sub>н</sub> , кВт	К <sub>с</sub>	cosφ	tgφ	Р <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВар
7	Механический	660	0,8	0,9	0,484	528,00	255,72
8	Строительно - монтажный участок	930	0,8	0,9	0,484	744,00	360,34
9	Электроцех	200	0,8	0,9	0,484	160,00	77,49
10	Заводоуправление	150	0,8	0,9	0,484	120,00	58,12
11	Гараж	83	0,65	0,75	0,882	53,95	47,58
12	Склад готовой продукции	70	0,65	0,75	0,882	45,50	40,13
13а	Насосная	40	0,65	0,75	0,882	26,00	22,93
Итого по 0,38/0,22 кВ		4433				3736,75	2383,99
Потребители электрической энергии выше 1000 В							
13б	Насосная	800	0,75	0,9	0,484	600	372
Итого по 10 кВ		800				600	372
Итого по предприятию		5233				4336,75	2755,99

Результаты расчёта осветительных нагрузок цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты расчёта осветительных нагрузок цехов предприятия

№ цеха	Наименование	Осветительная нагрузка				
		F, м <sup>2</sup>	Р <sub>удо</sub> , кВт	Р <sub>но</sub> , кВт	К <sub>со</sub>	Р <sub>ро</sub> , кВт
1	Цех производства силовых тренажёров	15975	0,014	223,65	0,6	134,190

Продолжение таблицы 5

№ цеха	Наименование	Осветительная нагрузка				
		F, м <sup>2</sup>	P <sub>удо</sub> , кВт	P <sub>но</sub> , кВт	K <sub>со</sub>	P <sub>ро</sub> , кВт
2	Цех производства спортивного инвентаря	12925	0,014	180,95	0,6	108,570
3	Цех производства спортивного оборудования	21150	0,014	296,10	0,6	177,660
4	Цех производства спортивных тренажёров	22670	0,014	317,38	0,6	190,428
5	Цех производства кардиотренажёров	1440	0,012	17,28	0,6	10,400
6	Котельная	1920	0,012	23,04	0,6	13,824
7	Механический	3890	0,014	54,46	0,6	32,676
8	Строительно - монтажный участок	5530	0,02	110,60	0,6	66,360
9	Электроцех	6314	0,014	88,396	0,6	53,038
10	Заводоуправление	11560	0,02	231,20	0,7	161,840
11	Гараж	7900	0,01	79	0,6	47,400
12	Склад готовой продукции	11200	0,01	112	0,6	67,200
13	Насосная	8250	0,012	99	0,6	59,400
Итого по предприятию осветительной нагрузки						1087,906

Результаты расчёта суммарной расчетной нагрузки цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) представлены в таблице 6.



Таблица 6 - Результаты расчёта суммарной расчетной нагрузки цехов

№ цеха	Наименование	Суммарная расчетная нагрузка		
		$P_p+P_{po}$ , кВт	$Q_p$ , кВар	$S_p$ , кВА
1	Цех производства силовых тренажёров	854,19	348,71	922,63
2	Цех производства спортивного инвентаря	524,57	201,48	561,93
3	Цех производства спортивного оборудования	649,66	228,60	688,71
4	Цех производства спортивных тренажёров	990,43	387,46	1063,52
5	Цех производства кардиотренажёров	169,78	163,3	235,6
6	Котельная	137,32	126,00	186,37
7	Механический	560,68	255,72	616,24
8	Строительно - монтажный участок	810,36	360,34	886,86
9	Электроцех	213,04	77,49	226,69
10	Заводуправление	281,84	58,12	287,77
11	Гараж	101,35	47,58	111,96
12	Склад готовой продукции	112,70	40,13	119,63
13	Насосная	85,40	22,93	88,42
Итого по 0,38/0,22 кВ		6013,10	2934,18	6802,89
136	Насосная	600	372	705,96
Итого по 10 кВ		600	372	705,96
Итого по предприятию		6613,10	3306,18	7508,85

На основании полученных результатов далее в работе проводится выбор силовых трансформаторов, электрических сетей и аппаратов.

### 2.3 Определение условного центра электрических нагрузок цехов и всего предприятия. Расчёт картограммы нагрузок

Для построения картограммы электрических нагрузок в работе

необходимо определить площади и радиус окружностей, а также угол заштрихованного сектора, соответствующего площади равной расчётной мощности осветительной нагрузки.

Площади окружностей картограммы нагрузок и радиус окружности:

$$P_{p,i} = \pi R_i^2 m \quad (14)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{p,i}}{\pi \cdot m}}, \quad (15)$$

где  $P_{p,i}$  – расчетная активная мощность  $i$ -го цеха, кВт;

$m$  – масштаб мощности, кВт/мм<sup>2</sup>.

Угол заштрихованного сектора, соответствующего площади равной расчётной мощности осветительной нагрузки:

$$\alpha_i = \frac{360 \cdot P_{p.o.i}}{P_{p.n.i} + P_{p.o.i}}. \quad (16)$$

Координаты ЦЭН предприятия при этом можно определить так:

$$X_{ЦА} = \frac{\Sigma(P_{p,i} X_i)}{\Sigma P_{p,i}}, \quad (17)$$

$$Y_{ЦА} = \frac{\Sigma(P_{p,i} Y_i)}{\Sigma P_{p,i}}, \quad (18)$$

где  $X_i, Y_i$  – координаты центров электрических нагрузок цехов, м.

Определение центра электрических нагрузок цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) и данных для построения картограммы нагрузок приведено в таблице 7.

Таблица 7 - Определение центра электрических нагрузок цехов

№ цеха	Наименование цеха	$P_{pi} + P_{poi}$ , кВт	$P_{poi}$ , кВт	$R_i$ , мм	$\alpha_i$ , град	$X_i$ , м	$Y_i$ , м	$(P_{pi} + P_{poi}) \cdot X_i$ , кВт·м	$(P_{pi} + P_{poi}) \cdot Y_i$ , кВт·м
1	Цех производства силовых тренажёров	854,19	134,19	15,25	56,55	247	77	210985	65773
2	Цех производства спортивного инвентаря	524,57	108,57	11,95	74,51	192	77	100717	40392
3	Цех производства спортивного оборудования	649,66	177,66	13,30	98,45	144	77	93551	50024
4	Цех производства спортивных тренажёров	990,43	190,43	16,42	69,22	222	210	219875	207990
5	Цех производства кардиотренажёров	169,78	10,4	13,72	14,43	68	135	47026	93361
6	Котельная	137,32	13,82	6,11	36,24	14	99	1923	13595
7	Механический	560,68	32,68	12,35	20,98	71	77	39808	43172
8	Строительно - монтажный участок	810,36	66,36	14,85	29,48	27	31	21880	25121
9	Электроцех	213,04	53,04	7,62	89,63	71	41	15126	8735
10	Заводоуправление	281,84	161,84	8,76	206,72	308	218	86807	61441
11	Гараж	101,35	47,40	5,25	168,37	306	108	31013	10946
12	Склад готовой продукции	112,70	67,20	5,54	214,66	314	45	35388	5072
13	Насосная	85,40	59,40	4,82	250,40	356	108	30402	9223
136	Насосная	600	0,00	12,78	0,00	356	108	213600	64800
Итого		6613,10	1140,31			173,6	105,8	1148101	699644

Координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) определяется так:

$$X_{ЦА} = \frac{1148101}{6613,1} = 173,6 \text{ м.}$$

$$Y_{ЦА} = \frac{699644}{6613,1} = 105,8 \text{ м.}$$

Картограмма электрических нагрузок предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) приведена на графическом листе №1 работы.

#### **2.4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП с учётом компенсации реактивной мощности**

При решении вопроса о компенсации реактивной мощности на предприятии исходят из следующих предпосылок, приведённых ниже.

Рассчитываются коэффициенты:

$$tg\varphi_0 = \frac{Q_0}{P_M}; tg\varphi_m = \frac{Q_m}{P_M}, \quad (19)$$

где  $tg\varphi_0$  - оптимальный коэффициент реактивной мощности;

$P_M$  - заявленная предприятием активная мощность, участвующая в максимуме энергосистемы и зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией;

$Q_0$  - оптимальная реактивная нагрузка предприятия, зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией;

$Q_m$  - фактическая реактивная нагрузка предприятия.

Оптимальное значение коэффициента реактивной мощности  $tg\varphi_0 = 0,4$ .

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{3306,18}{6613,1} \approx 0,5$$

Мощность компенсирующих устройств  $Q_{KV}$  для установки на шинах 10 кВ ГПП предприятия определяется так:

$$Q_{KV} = P_m(\operatorname{tg} \varphi_m - \operatorname{tg} \varphi_o). \quad (20)$$

$$Q_{KV} = 6613,1 \cdot (0,4 - 0,5) \approx 661 \text{ квар.}$$

Принимается для установки на ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ две конденсаторные установки марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 с суммарной реактивной мощностью  $2 \cdot 300 = 600$  квар.

Тогда расчетная реактивная нагрузка предприятия ООО АЙРОН КИНГ с учётом компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП

$$Q_{p\Sigma} = Q_p - Q_{KV}, \text{ квар.} \quad (21)$$

$$Q_{p\Sigma} = 3306,18 - 600 = 2706,18 \text{ квар.}$$

Тогда полная расчётная нагрузка предприятия ООО АЙРОН КИНГ с учётом компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.\Sigma}^2 + Q_{p.\Sigma}^2}, \text{ кВА.} \quad (22)$$

$$S_{p.} = \sqrt{6613,1^2 + 2706,18^2} = 7145,4 \text{ кВА.}$$

Мощность силового трансформатора для установки на ГПП

$$S_{ном} \geq \frac{S_P}{n \cdot K_3}, \quad (23)$$

где  $n$  – количество силовых трансформаторов, шт.;

$K_3$  – коэффициент загрузки,  $K_3 = 0,7$ .

$$S_{ном} \geq \frac{7145,4}{2 \cdot 0,7} = 5103,8 \text{ кВА.}$$

Выбирается для установки на ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ силовой трансформатор номинальной мощностью 6300 кВА. Выбирается трансформатор типа ТМН-6300-110/10У1. Каталожные данные выбранных силовых трансформаторов ГПП предприятия представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Каталожные данные трансформаторов ГПП

ПС	Тип трансформатора	$S_{тр}$ МВт	$n$	$\Delta P_{кз'}$ КВт	$\Delta P_x$ КВт	$\Delta Q_x$ Ква	$I_x\%$	$U_{к\%}$
ГПП	ТМН-6300/110/10	6,3	2	44	11,5	50,4	0,8	10,5

Определяется фактический коэффициент загрузки трансформатора ГПП

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}}. \quad (24)$$

$$K_3 = \frac{7145,4}{2 \cdot 6300} = 0,58$$

Проверка выбранного силового трансформатора ГПП в ПАВ режиме

$$1,35 \cdot S_{ном} \geq S_p. \quad (25)$$

$$1,35 \cdot 6300 = 8505 \text{ кВА} \geq 7145,4 \text{ кВА}.$$

Условия проверок как в нормальном, так и послеаварийном режиме для выбранных силовых трансформаторов ГПП выполняется. Окончательно принимается два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА для установки на ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ.

## **2.5 Выбор месторасположения, числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП с учётом компенсации реактивной мощности**

Для определения месторасположения понизительных подстанций необходимо определить их количество на территории предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск), исходя из основных теоретических сведений и исследовательских трудов, проведённых в данной области.

На данном этапе для потребителей I и II категории предусматриваются цеховые ТП с двумя рабочими трансформаторами, обеспечивая таким образом отдельную работу трансформаторов с автоматическим включением резерва (АВР) на шинах 0,4 кВ.

Для потребителей III категории предусматриваются питание на напряжении 0,338/0,22 кВ от одного трансформатора.

Допускается пользоваться принятыми критериями относительно плотности нагрузки напряжением 0,38/0,22 кВ:

$$S_{н.т} = \begin{cases} 1000, 1600 \text{ кВА}, & \sigma \leq 0,2 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 1600 \text{ кВА}, & 0,2 < \sigma \leq 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 2500 \text{ кВА}, & \sigma > 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \end{cases} \quad (26)$$

Определяется плотность нагрузки 0,38/0,22 кВ в каждом из цехов предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск)

$$\delta = \frac{S_p}{F}. \quad (27)$$

Таблица 9 – Результаты расчетов плотности нагрузки цехов предприятия

№ цеха	Наименование	Pp, кВт	Qp, кВар	Sp, кВА	F, м <sup>2</sup>	σ, кВА/м <sup>2</sup>
1	Цех производства силовых тренажёров	854,19	348,71	922,627	15975	0,06
2	Цех производства спорт. инвентаря	524,57	201,48	561,932	12925	0,04
3	Цех производства спорт. оборудования	649,66	228,60	688,706	21150	0,03
4	Цех производства спортивных тренажёров	990,43	387,46	1063,518	22670	0,05
5	Цех производства кардиотренажёров	169,78	163,3	235,6	1440	0,16
6	Котельная	137,32	126,00	186,367	1920	0,10
7	Механический	560,68	255,72	616,240	3890	0,16
8	Строительно - монтажный участок	810,36	360,34	886,863	5530	0,16
9	Электроцех	213,04	77,49	226,694	6314	0,04
10	Заводоуправление	281,84	58,12	287,770	11560	0,02
11	Гараж	101,35	47,58	111,963	7900	0,01
12	Склад готовой продукции	112,70	40,13	119,631	11200	0,01
13	Насосная	85,40	22,93	88,425	8250	0,01
	Итого	6013,1	2934,18	6802,89	133134	0,96

Исходя из результатов расчёта плотности нагрузки, а также с учётом размещения цехов на территории предприятия, с целью выбора одного типонаминала силовых трансформаторов, принимается мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ, равная 1600 кВА.



Тогда минимальное количество силовых трансформаторов мощностью 1600 кВА:

$$N_{\min} = \frac{P_{p.\Sigma}}{k_3 \cdot S_{н.м}} + \Delta N, \text{ шт}, \quad (28)$$

где  $P_{p.\Sigma}$  – суммарное значение нагрузки цехов предприятия на шинах 0,4 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ;

$\Delta N$  – приращение аргумента до целого числа;

$k_3$  – значение коэффициента загрузки силовых трансформаторов цеховой ТП-10/0,4 кВ.

По условию (28)

$$N_{\min} = \frac{6013,1}{0,8 \cdot 1600} + 0,31 = 5 \text{ шт}.$$

Цеховые ТП-10/0,4 кВ размещаются в цехах с наибольшей нагрузкой (основных производственных цехах).

При этом необходимо загрузить все силовые трансформаторы цеховых ТП так, чтобы соблюдался нормируемый коэффициент загрузки согласно требуемым нормативным документам [1-4], а питающая и распределительная сети были как можно более короткими (имели минимальную длину). Это позволит значительно снизить потери напряжения и электроэнергии в системе электроснабжения [16-20].

Принятый в работе вариант размещения цеховых ТП-10/0,4 кВ и распределение нагрузки между цеховыми подстанциями предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск), представлен на генплане предприятия в графической части работы и в таблице 10.

Таблица 10 – Распределение нагрузки между цеховыми ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск)

№ цеха	Наименование цеха	Pp+Ppo, кВт	Qp, кВар	Sp, кВА	F, м <sup>2</sup>	σ, кВА/м <sup>2</sup>
ТП-1						
1	Цех производства силовых тренажёров	854,19	348,71	922,63	15975	0,06
2	Цех производства спортивного инвентаря	524,57	201,48	561,93	12925	0,04
3	Цех производства спортивного оборудования	649,66	228,60	688,71	21150	0,03
Всего по ТП1		2028,42	778,79	2173,26	50050	0,04
ТП2						
4	Цех производства спортивных тренажёров	990,43	387,46	1063,52	22670	0,05
10	Заводоуправление	281,84	58,12	287,77	11560	0,02
11	Гараж	101,35	47,58	111,96	7900	0,01
12	Склад готовой продукции	112,70	40,13	119,63	11200	0,01
13	Насосная	85,40	22,93	88,42	8250	0,01
Всего по ТП2		1571,72	556,21	1671,31	61580	0,11
ТП3						
5	Цех производства кардиотренажёров	169,78	163,3	235,6	1440	0,16
6	Котельная	137,32	126,00	186,37	1920	0,10
7	Механический	560,68	255,72	616,24	3890	0,16
8	Строительно - монтажный участок	810,36	360,34	886,86	5530	0,16
9	Электроцех	213,04	77,49	226,69	6314	0,04
Всего по ТП3		1891,18	982,85	2131,33	19094	0,11

Для двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ, которые питают потребители I и II категорий надёжности, мощность силового трансформатора определяется из соотношения

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N \beta_{\text{т}}}, \quad (29)$$

где  $S_{\text{ном.т}}$  – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ, кВА;

$S_{\text{ном.т.р}}$  – расчетная мощность силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ, кВА;

$\sum P_{\text{р.}}$  – суммарная активная нагрузка цехов, которые питают питание от ТП-10/0,4 кВ, кВт;

$N$  – число трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт;

$\beta_{\text{т}}$  – коэффициент загрузки трансформатора ТП-10/0,4 кВ [1].

Цеха, относящиеся к III категории надёжности, питаются одной кабельной линией от двухтрансформаторных ТП (в непосредственной близости от данных цехов).

На примере цеховой ТП-1, питающей следующие цеха предприятия ООО АЙРОН КИНГ (таблица 10):

- цех производства силовых тренажёров;
- цех производства спортивного инвентаря;
- цех производства спортивного оборудования.

Мощность трансформатора ТП-1

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{2028,42}{2 \cdot 0,8} = 1267,8 \text{ кВА.}$$

Выбирается для установки на ТП-1 два силовых трансформатора марки ТМ-1600/10У1.

Результаты выбора трансформаторов на остальных ТП-10/0,4 кВ представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ

Наименование цеховой ТП	Тип трансформаторов	$S_{тр}$ , кВА	N, шт	$K_3$
ТП 1	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,63
ТП 2	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,49
ТП 3	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,68

Проводится расчёт и выбор компенсирующих устройств для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ по выражению [3]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{ном.т})^2 - P_{р.ТП}^2}, \quad (30)$$

где  $N$  – количество трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт;

$\beta_m$  – коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ;

$S_{ном.т}$  – мощности трансформаторов ТП-10/0,4 кВ, кВА;

$P_{р.ТП}$  – расчетная активная нагрузка ТП-10/0,4 кВ, кВт.

Мощность конденсаторных установок (КУ) на цеховых ТП-10/0,4 кВ

$$Q_{н.к} = Q_{р.т} - Q_T, \quad (31)$$

где  $Q_{р.т}$  – значение расчетной реактивной нагрузки ТП-10/0,4 кВ, квар.

Мощность регулируемой части КУ принимается, исходя из максимальных нагрузок и нормативного значения коэффициента мощности:

$$Q_{\text{н.к.р}} = Q_{\text{р.т}} - Q_{\text{н.к}} - P_{\text{р.ТП}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{н}}, \quad (32)$$

где  $\text{tg}\varphi_{\text{н}} = 0,329$  - коэффициент реактивной мощности при  $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,95$ .

Суммарная расчетная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{н.к.}} + Q_{\text{н.к.р}}. \quad (33)$$

С учётом установки компенсирующих устройств на цеховых ТП, их полная мощность равна:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p^2 - Q_{\text{КУ}})}. \quad (34)$$

Фактический коэффициент загрузки трансформаторов цеховой ТП с учётом установки КУ в нормальном режиме работы составит:

$$K_3 = \frac{S_p}{N_m \cdot S_{\text{ном.т}}}. \quad (35)$$

В качестве примера произведем расчет для ТП-1:

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1600)^2 - 2028,42^2} = 1561,77 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{н.к}} = 778,79 - 1561,77 = -782,98 \text{ квар.}$$

Для ТП-1 расчётная мощность КУ имеет отрицательное значение, следовательно, КУ на ТП1 не устанавливаются.

При этом расчётная нагрузка данной ТП-1 и коэффициент загрузки силовых трансформаторов на ТП-1 в виду отсутствия КУ не изменяются и принимаются равной ранее полученным значениям ( $S_p = 2172,79$  кВА,  $K_3 = 0,63$ ).

В результате проведения расчётов по выбору компенсирующих устройств для их установки на ТП1 установлено, что компенсация реактивной мощности на ТП1 не требуется и КУ не устанавливаются.

Результаты выбора компенсирующих устройств на остальных цеховых ТП-10/0,4 кВ приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Выбор компенсирующих устройств на цеховых ТП-10/0,4 кВ

№ ТП	Марка силового трансформатора	Расчетные нагрузки		Компенсирующие устройства, квар				Sp, кВА
		Pp, кВт	Qp, квар	Q <sub>т</sub>	Q <sub>нк</sub>	Q <sub>ку</sub>	Тип КУ	
1	ТМ-1600/10У1	2028,42	778,79	1561,77	-782,98	-	-	2172,79
2	ТМ-1600/10У1	1571,72	556,21	2020,72	-1464,51	-	-	1667,23
3	ТМ1600/10У1	1891,18	982,85	1890,24	-907,39	-	-	2131,33
Итого		6013,10	2934,18	-	-	-	-	5971,35

В результате проведения расчётов установлено, что на всех цеховых ТП предприятия ООО АЙРОН КИНГ установка компенсирующих устройств напряжением 0,38/0,22 кВ не требуется.

В качестве цеховых ТП-10/0,4 кВ в работе применяются блочные комплектные трансформаторные подстанции наружной установки на два силовых трансформатора мощностью 1600 кВА и распределительными устройствами (2БКТП).

Основные характеристики 2БКТП с двумя силовыми трансформаторами ТМ-1600/10 приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Основные технические характеристики 2БКТП с двумя силовыми трансформаторами ТМ-1600/10

Строительная часть	Габариты, мм (длина x ширина x высота)	Полная масса, т.
2БКТП	4560 x 4970 x 2590	25
Кабельный блок	4480 x 2380 x 1100	5

Каждый блок разделён на два отсека, при этом в одном отсеке расположен силовой трансформатор, а в другом – высоковольтное и низковольтное электрооборудование.

Ввод и вывод силовых кабелей осуществляется через кабельный блок, имеющий по периметру запечатанные отверстия круглой формы, что позволяет прокладывать кабели в асбестоцементных трубах с последующей заделкой пустот.

В полу отсека распределительных устройств имеется люк, закрытый металлическими крышками, обеспечивающий доступ в кабельный полуподвал.

В кабельном блоке, под трансформатором, устанавливается маслосборник.

БКТП снаружи грунтуется краской серого цвета, для последующей отделки в необходимый цвет.

Гидроизоляция поверхности крыши БКТП и кабельного блока произведена путем нанесения на бетонную поверхность мастики холодного применения.

## **2.6 Расчёт токов короткого замыкания**

Проводится расчёт токов КЗ для участка распределительной сети 10 кВ ГПП –ТП-1.

Так как на всех цеховых ТП-10/0,4 кВ установлены трансформаторы марки ТМ-1600/10, для всех них результаты расчёта будет практически одинаковы (с допустимой погрешностью).

Составляется расчётная схема и схема замещения для данного участка (рисунок 5).

На схеме замещения указываются сопротивления всех элементов и точки для расчётов токов КЗ.

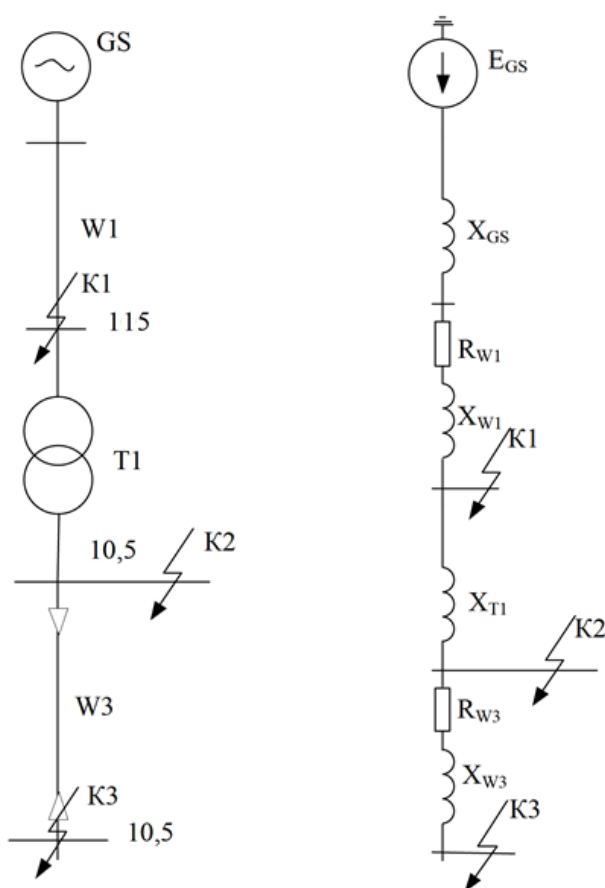


Рисунок 5 – Однолинейная расчетная схема и схема замещения сети

Величина базисного напряжения  $U_6$  принимается выше номинального напряжения сети на 5%. Выбираются расчетные точки короткого замыкания К1 на стороне высшего напряжения подстанции и К2, К3 на стороне низшего напряжения.



Базисные условия:  $S_B = 100$  МВА;  $U_{BH} = 115$  кВ;  $U_{HH} = 10,5$  кВ.

Рассчитывается базисный ток для стороны высшего и низшего напряжения:

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (36)$$
$$I_{B.BH} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,51 \text{ кА.}$$
$$I_{B.HH} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

Расчет параметров схемы в относительных единицах.

Определяется сопротивление элементов схемы замещения.

Принимается факт, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы)  $E_c = 1$ , соответственно, индуктивное сопротивление  $x_c = 0,05$ .

Индуктивное сопротивление воздушной линии W1:

$$X_{W1} = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (37)$$

где  $X_{W1}$ -удельное сопротивление воздушной линии, Ом/км;

$L$ -длина линии, 6 км.

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление линии:

$$R_{W1} = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (38)$$

где  $R_{уд.W1}$  – удельное активное сопротивление воздушной линии [1].

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,02 \text{ o.e.}$$

Находится индуктивное сопротивление трансформатора ГПП предприятия

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{К.З.}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T}}. \quad (39)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 0,59 \text{ o.e.}$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии W3

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,01 \text{ o.e.}$$

Определяется активное сопротивление кабельной линии W3

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,08 \text{ o.e.}$$

Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1.

Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (40)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,05 + 0,02)^2 + 0,02^2} = 0,073 \text{ o.e.}$$

Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётных точках

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (41)$$

Рассчитывается значение трёхфазного тока КЗ в расчётной точке К1

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,073} \cdot 0,51 = 6,98 \text{ кА}.$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2

$$Z_{\Sigma k 2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}. \quad (42)$$
$$Z_{\Sigma k 2} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59)^2 + 0,02^2} = 0,66 \text{ о.е.}$$
$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,66} \cdot 5,5 = 8,33 \text{ кА}.$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точке К3

$$Z_{\Sigma k 3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (43)$$
$$Z_{\Sigma k 3} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,01)^2 + (0,02 + 0,08)^2} = 0,79 \text{ о.е.}$$
$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,79} \cdot 5,5 = 6,91 \text{ кА}.$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (44)$$

где  $K_{y\partial}$  – значение ударного коэффициента (по справочным данным) [7].

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке  
К1

$$I_{y\partial.\kappa1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,98 = 15,71 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке  
К2

$$I_{y\partial.\kappa2} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 8,33 = 18,75 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в точке К3

$$I_{y\partial.\kappa1} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 6,91 = 13,24 \text{ кА.}$$

Расчет токов двухфазного короткого замыкания

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (45)$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К1

$$I_{\kappa1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,98 = 6,04 \text{ кА.}$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К2

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,33 = 7,21 \text{ кА.}$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётной точке К3

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,92 = 5,98 \text{ кА.}$$

Полученные результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках схемы системы электроснабжения ООО АЙРОН КИНГ приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ

Точка КЗ	U <sub>Б</sub> , кВ	I <sub>Б</sub> , кА	Z <sub>Σ</sub>	K <sub>уд</sub>	I <sup>(3)</sup> кА	I <sup>(2)</sup> кА	I <sub>уд</sub> , кА
К1	115	0,51	0,073	1,608	6,98	6,04	15,71
К2	10,5	5,5	0,66	1,608	8,33	7,21	18,75
К3	10,5	5,5	0,79	1,369	6,91	5,98	13,24

## 2.7 Выбор и проверка сечения проводников

В результате выполнения работы выбрана схема питания внешнего электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ с питанием от энергосистемы воздушной линией на напряжении 110 кВ с применением провода АС-70/11. На ГПП предприятия установлены два силовых трансформатора марки ТМН-6300/110, которые питают указанные воздушные линии 110 кВ. Внутризаводское электроснабжение предприятия ООО АЙРОН КИНГ осуществляется на напряжении 10 кВ.

На предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) установлено 3 двухтрансформаторные ТП-10/0,4 кВ с трансформаторами ТМ-1600/10, питающие потребители цехов предприятия на напряжении 0,38/0,22 кВ. При этом питание всех ТП-10/0,4 кВ, а также высоковольтных двигателей насосной, осуществляется от шин 10 кВ ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ по радиальной схеме электроснабжения кабельными линиями электропередачи марки АСБ-10. Кабельные линии напряжением 10 кВ в работе прокладываются в земле от сборных шин ГПП до ЦТП. Для выбора сечения кабеля рассчитывается рабочий ток кабельной линии с двумя силовыми кабелями

$$I_{p.} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (46)$$

Максимальный расчётный ток линии с двумя силовыми кабелями

$$I_{p.max} = 1,4 I_{p.max} \quad (47)$$

Проверка сечения в послеаварийном режиме [1]:

$$I_{дон} \geq I_{p.max} \quad (48)$$

где  $I_{дон}$  – длительно – допустимый ток выбранного кабеля [1];

$I_{p.max}$  – максимальный расчётный ток линии.

Выбор кабельных линий напряжением 10 кВ осуществляется непосредственно по экономической плотности тока таким образом:

$$F_9 = \frac{I_{p.}}{j_9}. \quad (49)$$

Проводится выбор силовых кабелей для питания ТП-1 от шин РУ-10 кВ  
ГПП:

$$I_{p.} = \frac{1600}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 46,2 \text{ A.}$$

$$F_9 = \frac{46,2}{1,2} = 38,54 \text{ мм}^2.$$

Согласно [1], выбирается ближайшее номинальное сечение кабельной линии  $F = 50 \text{ мм}^2$ .

Максимальный расчётный ток кабельной линии, которая питает ТП-1

$$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot 46,2 = 92,49 \text{ A.}$$

Условие проверки выполняется

$$132 \text{ A} \geq 92,49 \text{ A.}$$

Окончательно выбирается кабель марки АСБ-10 (3х50).

Аналогично выбираются и проверяются сечение кабельных линий остальных присоединений 10 кВ и результаты приводятся в таблице 15.

Таблица 15 – Выбор и проверка сечений кабельных линий напряжением 10 кВ

Линия	Назначение линии	$S_p$ , кВА	$N$ , шт	$I_p$ , А	$I_{p.max}$ , А	$F_э$ , мм	Марка кабеля	$I_{дон}$ , А
Л1	ГПП-ТП 1	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3x50)	132
Л2	ГПП-ТП 2	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3x50)	132
Л3	ГПП-ТП 3	1600	2	46,2	92,49	38,54	АСБ-10(3x50)	132
Л4	ГПП-РП1	754,3	2	20,4	40,81	17,00	АСБ-10(3x25)	84

Выбор и проверка кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ проводится по допустимому нагреву токами нормального и ПАВ режима. Количество кабелей в данном случае зависит от категории надёжности цехов. Результаты выбора кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ приводятся в таблице 16.

Таблица 16 – Выбор кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ

Линия	Назначение линии	$N$ , шт	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А	$I_{p.max}$ , А	Марка кабеля	$I_{дон}$ , А
Л5	ТП1-СП1	2	922,63	700,9	981,3	ЗВВГнг-LS (4x150)	1074
Л6	ТП1-СП2	2	561,93	426,9	597,6	2ВВГнг-LS (4x120)	634
Л7	ТП2-СП10	1	287,77	442,7	-	ВВГнг-LS (4x240)	471
Л8	ТП2-СП11	1	111,96	172,2	-	ВВГнг-LS (4x50)	187
Л9	ТП2-СП12	1	119,63	184,1	-	ВВГнг-LS (4x50)	187

Продолжение таблицы 16

Линия	Назначение линии	$N$ , шт	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А	$I_{p.max}$ , А	Марка кабеля	$I_{дон}$ , А
Л10	ТП2-СП13	2	88,42	67,2	94,1	ВВГнг-LS (4x16)	102
Л11	ТП3-СП5	2	235,6	181,2	253,7	ВВГнг-LS (4x95)	279
Л12	ТП3-СП6	2	186,37	141,6	198,2	ВВГнг-LS (4x70)	231



Л13	ТПЗ-СП8	1	886,86	1364,4	-	3ВВГнг-LS (4x240)	1413
Л14	ТПЗ-СП9	1	226,69	348,8	-	ВВГнг-LS (4x150)	358

Согласно полученным значениям токов короткого замыкания, проверяется принятые ранее сечения кабельных линий напряжением 10 кВ на термическую стойкость при КЗ.

Термически стойкое сечение:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (50)$$

где  $B_K$  – тепловой импульс тока КЗ,  $A^2 \cdot c$ ;

$C$  – тепловой коэффициент, в работе принимается для кабелей  $90 A \cdot c^{\frac{1}{2}}$ .

Проверяется кабельные линии напряжением 10 кВ

$$B_K = 8,33^2 \cdot 0,1 = 6,94 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{6,94 \cdot 10^6}}{90} = 29,3 \text{ мм}^2.$$

По данному значению минимального сечения видно, что все выбранные в работе сечения кабельных линий больше минимально – допустимого сечения по условиям короткого замыкания, следовательно, они удовлетворяют условиям проверки. Далее выбранные проводники проверяются по условию допустимой потери напряжения.

Потеря напряжения в линиях определяется так:

$$\Delta U = \frac{PR_L + QX_L}{U_H^2} \cdot 100, \% \quad (51)$$

Проверка по потере напряжения проводится для питающей воздушной линии напряжением 110 кВ с параметрами: марка провода АС-70:  $r_{уд} = 0,447$  Ом/км,  $x_{уд} = 0,4$  Ом/км по табл. 6.13 [4];  $I_{дон} = 265$  А по табл. 1.3.29 [4];  $l = 6$  км.

$$\Delta U_{110} = \frac{6613,1 \cdot (0,447 \cdot 6) + 2706,18 \cdot (0,4 \cdot 6)}{110^2} \cdot 100 = 1,12 \%$$

Потери напряжения в нормальном режиме меньше 5 %, значит, допустимы.

Аналогично проверены на допустимую потерю напряжения все кабельные линии напряжением 10 кВ, условия проверки для них также выполняются.

Кабельная сеть 10 кВ, а также питающая сеть 0,38/0,22 кВ прокладываются в земляной траншее на глубине не менее 0,7 м. Трассы кабельных линий при прокладке в земляных траншеях следует выбирать таким образом, чтобы их длина к объекту была минимальной, а кабельные траншеи не пересекались (особенно это касается кабелей разных классов напряжения и назначений). После укладки кабеля в траншее его залаживают красным кирпичём и засыпают грунтом. Кирпич предохраняет кабели от механических повреждений и служит своеобразным «указателем» нахождения кабельной линии при её ремонте. Грунт в обязательном порядке трамбуют с последующей подсыпкой новым слоем.

Распределительная сеть 0,38/0,22 кВ предприятия ООО АЙРОН КИНГ прокладывается в металлических трубах в полу цехов. При этом необходимо правильно подобрать трассу для прокладки кабелей с таким расчётом, чтобы она была как можно меньшей длины, а также исключить пересечение труб друг с другом и прочими коммуникациями цехов. Также крайне важно применять при монтаже стандартные углы изгиба труб, чтобы не повредить кабели внутри них.

Кабели всех выбранных линий напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ показаны на графических листах 1 и 2. Узлы монтажа кабельных линий приведены на графическом листе 5.

## 2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов

Для защиты и коммутации присоединений напряжением 110 кВ и 10 кВ также применяются высоковольтные выключатели, установленные в РУ 110 кВ и РУ 10 кВ ГПП. Выбор выключателей высокого напряжения проводится по номинальным параметрам напряжения и рабочего тока [6-8]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (52)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n; \quad (53)$$

- проверка выключателя на симметричный ток отключения

$$I_{nt} \leq I_{откл}; \quad (54)$$

- проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ [7]

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (55)$$

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}; \quad (56)$$

- на электродинамическую устойчивость [6-8]:

$$i_y \leq i_{пр.с}; \quad (57)$$

- на термическую стойкость по значению теплового импульса [6-8]

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (58)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{откл} + T_a). \quad (59)$$

Предварительно выбирается выключатель для установки в ОРУ 110 кВ ГПП типа ЛТВ-145D1/В-31,5/2000 [8]

$$U_{ном} = 110 \text{ кВ} = U_{сети} = 110 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 1000 \text{ А} > I_{расч} = 46,3 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,98 \text{ кА}.$$

$$i_{пр.скв} = 52 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,71 \text{ кА}.$$

$$I_k^2 t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с} > I_k^2 (t_{откл} + T_a) = 6,98^2 \cdot (0,1 + 0,02) = 5,85 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

$$\sqrt{2} \cdot I_k (1 + \beta_{ном} / 100) = \sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,25) = 35 > \sqrt{2} \cdot 15,71 \cdot (1 + e^{\frac{-(0,05+0,1)}{0,007}}) = 24,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Окончательно выбирается выключатель марки ЛТВ-145D1/В-31,5/2000.

Распределительное устройство 10 кВ ГПП предприятия (РУ-10 кВ), от которого получают питание цеховые ТП-10/0,4 кВ, представляет собой комплектное распределительное устройство внутренней установки. Конструктивно оно выполнено с использованием ячеек КУ-10С, в которых непосредственно используется выкатной элемент в сборе с ранее выбранными в работе вакуумными выключателями серии ВВ/TEL-10.

Камеры поставляются с предприятия – изготовителя полностью собранными и укомплектованными, при монтаже необходимо их установить

согласно проекту, сфазировать и подключить в работу. В виду этого, в них не устанавливаются разъединители.

Выбор выключателей 10 кВ выполняется аналогично (таблица 17).

Таблица 17 – Выбор высоковольтных выключателей в РУ 10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные выключателя марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 364,2$ А	$I_n = 630$ А
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 18,75$ кА	$i_{пр.с} = 80$ кА
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 8,33^2 \cdot 0,1 = 6,94$ кА <sup>2</sup> с	$I_T^2 t_T = 4000$ кА <sup>2</sup> с
$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 8,33$ кА	$I_{откн} = 20$ кА

Предварительно выбирается разъединитель (таблица 18).

Таблица 18 – Результаты выбора разъединителей в ОРУ 110 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные разъединителя марки РГ-110/1000У1
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 110$ кВ	$U_n = 110$ кВ
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 46,3$ А	$I_n = 1000$ А

Продолжение таблицы 18

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные разъединителя марки РГ-110/1000У1
$i_y \leq i_{пр.с}$	$i_y = 15,71$ кА	$i_{пр.с} = 20$ кА
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 6,98^2 \cdot 0,12 = 5,85$ кА <sup>2</sup> с	$I_T^2 t_T = 2000$ кА <sup>2</sup> с

Выбирается трансформатор тока 110 кВ марки ТВТ-110 (таблица 19).

Таблица 19 - Выбор трансформатора тока в ОРУ 110 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТТ марки ТВТ-110
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 110$ кВ	$U_n = 110$ кВ
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 46,3$ А	$I_n = 300$ А
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 15,71$ кА	$i_{нр.с} = 62$ кА
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 6,98^2 \cdot 0,12 = 5,85$ кА <sup>2</sup> с	$I_T^2 t_T = 2000$ кА <sup>2</sup> с

Выбирается трансформатор тока 10 кВ марки ТЛО-10 (таблица 20).

Таблица 20 – Выбор трансформатора тока 10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТТ марки ТЛО-10
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 509,8$ А	$I_n = 630$ А
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 18,75$ кА	$i_{нр.с} = 40$ кА
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 8,33^2 \cdot 0,1 = 6,94$ кА <sup>2</sup> с	$I_T^2 t_T = 2000$ кА <sup>2</sup> с

Выбирается трансформатор напряжения 10 кВ НАМИ-10 (таблица 21).

Таблица 21 - Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Условия	Параметры электрической сети	Каталожные данные ТН марки НАМИ-10
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10$ кВ	$U_n = 10$ кВ
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 509,8$ А	$I_n = 630$ А
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 18,75$ кА	$i_{нр.с} = 60$ кА
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 8,33^2 \cdot 0,1 = 6,94$ кА <sup>2</sup> с	$I_T^2 t_T = 1200$ кА <sup>2</sup> с

Поскольку на ОРУ 110 кВ требуется ОПН внешней установки, выбираются для защиты ВЛ-110 кВ ограничители перенапряжений типа ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1.

На стороне 10 кВ в работе используются ОПН внутренней установки типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1, которые устанавливаются в шкафах КРУ 10 кВ совместно с ранее выбранными вакуумными выключателями типа ВВ/TEL-10.

Все выбранные электрические аппараты показаны в графической части работы.

Разработанные схемные решения системы электроснабжения предприятия всех уровней напряжения позволяют обеспечить надежное питание потребителей как в нормальном режиме, так и в аварийных ситуациях.

Принятые схемы электроснабжения спроектированы с учетом категории надежности всех потребителей.

### **3 Техника безопасности и охрана труда**

#### **3.1 Обеспечение техники безопасности и охраны труда на предприятии**

В числе основных опасных и вредных производственных факторов при выполнении работ в системе электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск, выделяются [2,16-18]:

- поражение людей электрическим током;
- наличие опасного шагового напряжения в зоне растекания электрического тока при замыкании токоведущих частей на землю, в особенности в сырую погоду;
- появление наведенного и опасного напряжения на корпусах электрооборудования при повреждении изоляции;
- влияние электромагнитных полей высокого напряжения на организм людей;
- травмы различной степени тяжести при выполнении работ по монтажу, обслуживанию и ремонту электрического оборудования и сетей;
- опасность падения с высоты при монтаже, обслуживании и ремонте воздушных линий электропередач;
- повышенный уровень шума при выполнении работ по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования и сетей;
- недостаточная освещенность рабочей зоны при работах в помещении закрытых и открытых распределительных устройств в течении суток;
- повышенная либо пониженная температура воздуха рабочей зоны при выполнении работ;
- опасность получения ожогов лица и глаз при возникновении дуги, коротком замыкании;



- повышенная опасность повреждения существующих коммуникаций при прокладке и ремонте воздушных линий системы электроснабжения потребителей;
- опасность возникновения пожара и взрыва в маслонаполненном оборудовании (в силовых трансформаторах масляного типа) на ГПП и цеховых ТП-10/0,4 кВ;
- опасность утечки масла и загрязнение почвы на ГПП и цеховых ТП-10/0,4 кВ.

На предприятии ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск обязанности по охране труда возлагаются на главных специалистов приказом руководителя [17].

До выполнения работ в электроустановках допускаются лица, достигшие 18 летнего возраста и прошедшие соответствующее обучение согласно требований [16-18]. Современные технологии позволяют свести к минимуму производственный травматизм.

Согласно требованиям [2,17], в системе электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ, необходимо применять организационные и технические мероприятия по технике безопасности.

Организационные мероприятия по технике безопасности включают в себя [2,17]:

- назначение лиц, отвечающих за безопасное проведение работ (руководителя работ, допускающего, наблюдающего, членов бригады);
- выдача нарядов и распоряжений;
- проведение различных типов инструктажей с последующей подписью обучаемого в журнале инструктажей;
- подготовка рабочего места с применением теоретических знаний и навыков;
- допуск к выполнению работ;

- перерыв и окончание работ.

Технические мероприятия по технике безопасности включают в себя [2,17]:

- полное или частичное снятие напряжения в месте проведения работ бригадой;
- обеспечение необходимых выключений и переключений;
- принятие неотложных мер, которые препятствуют самопроизвольному включению коммутационных и (или) защитных электрических аппаратов, а также непредвиденной подаче напряжения на шины со стороны источника питания;
- непосредственная проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок в зоне проведения работ путём использования технических и поверенных средств (указателей напряжения и т.д.);
- наложение переносных заземлений с использованием принятой методики и алгоритма, а также поверенных технических средств;
- ограждение и прекращение доступа несанкционированных лиц на рабочее место, а также ограждение (изоляция) всех токоведущих частей, находящихся под напряжением;
- вывешивание плакатов по технике безопасности на рабочем месте, а также по периметру установленного и ограждённого рабочего места (зоны выполняемых работ).

Пожарная безопасность электрических сетей и электроустановок предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск в работе обеспечивается [16,17]:

- применением негорючих конструкций;
- выбором оборудования и электроустановочных изделий, соответствующих условиям окружающей среды и номинальному напряжению;

- выбором марок и сечений проводников, способов их прокладки, удовлетворяющих требованиям [4];
- автоматическим отключением токов КЗ;
- применением защитного заземления.

Охрана окружающей среды при строительстве объектов энергетики осуществляется путем выполнения природоохранных мероприятий, которые снижают или ликвидируют отрицательное воздействие на природную среду, на сохранение природных ресурсов [17].

Рассматриваемые в работе питающие подстанции (ГПП и цеховые ТП-10/0,4 кВ) не является источником загрязнения окружающей среды. На ГПП и всех цеховых ТП-10/0,4 кВ в отсеках силовых трансформаторов установлены маслоприёмники, следовательно, вероятность попадания масла в грунт сводится к минимуму. В сети 110 кВ на питающей ВЛ-110 кВ и РУ ВН ГПП, а также на вводах ВН силовых трансформаторов ГПП, есть фактор повышенной напряжённости поля, который негативно влияет на организм людей. Поэтому работы в указанных электроустановках все работы по монтажу, обслуживанию и ремонту оборудования и сетей следует производить в специальных экранирующих костюмах, а также необходимо свести к минимуму время пребывания людей на указанных объектах.

Процесс передачи электроэнергии на напряжениях 10/0,4 кВ является безотходным, не сопровождается никакими вредными выбросами в окружающую среду. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на период проведения монтажных работ в рассматриваемой системе электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск будут происходить только при работе автотранспорта и спецтехники.

Воздействие на атмосферный воздух при проведении электромонтажных работ, а также работ по обслуживанию и ремонту электрооборудования на объекте, относится к кратковременному.

### 3.2 Расчёт защитного заземления

Проводится расчёт заземления на примере цеховой ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск.

Принимаются следующие исходные данные [16]:

- вертикальные заземлители (электроды): материал – сталь, диаметр стержней – 16 мм, длина стержней – 2 м, глубина погружения в грунт – 50 см;

- горизонтальные заземлители (электроды): материал – полосовая сталь, длина – 5 м, метод соединения – сварка (проводник заземления крепится на болтовое соединение);

- грунт – суглинок.

Рассчитывается сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных заземлителей, Ом, [16]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (60)$$

$$\rho_{p.g} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.g}, \quad (61)$$

где  $\rho_{y\delta}$  – удельного сопротивления грунта (для суглинка), Ом [16];

$K_{n.z}$  и  $K_{n.g}$  – нормируемые коэффициенты использования горизонтальных и вертикальных электродов [16].

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$\rho_{p.g} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для стержневого вертикального заземлителя сопротивление растеканию определяется так [16]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left( \lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (62)$$

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left( \lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 23,65 \text{ Ом.}$$

Число вертикальных заземлителей (электродов) [16]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{ шт.} \quad (63)$$

$$N = \frac{23,65}{0,66 \cdot 4} = 8,96 \text{ шт.}$$

Принимается  $N = 9$  шт.

Сопротивление растеканию горизонтальных электродов [16]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.r} \cdot 2\pi \cdot l_2} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t}, \text{ Ом.} \quad (64)$$

$$R_r = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{ Ом.}$$

Уточненное значение сопротивления вертикальных заземлителей в рассчитываемом контуре заземления [16]

$$R_{в.з.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом.} \quad (65)$$

$$R_{в.з.} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом.}$$

Уточненное число вертикальных заземлителей в рассчитываемом контуре заземления [16]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{шт.}, \quad (66)$$

$$N = \frac{23,65}{0,66 + 4,72} = 8,8 \text{ шт.}$$

Сопротивление вертикальных заземлителей Ом [16]:

$$R_{в.е} = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot N}, \text{Ом.} \quad (67)$$

$$R_{в.е} = \frac{23,65}{0,66 \cdot 9} = 4,48 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление заземлителей (электродов) спроектированного контура заземления цеховой ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск,  $R_{в.в.}$ , Ом, определяется таким образом:

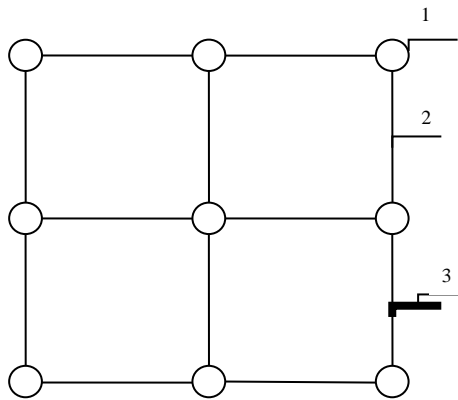
$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_{Г}}{R_B + R_{Г}}, \text{Ом.} \quad (68)$$

$$R_{общ.} = \frac{4,48 \cdot 26,17}{4,48 + 26,17} = 3,74 \text{ Ом.}$$

Полученное значение сопротивления контура заземления меньше предельно допустимого нормируемого значения 4 Ом [4], значит, расчёты выполнены верно.

Окончательно принимается к установке в контуре заземления на цеховой ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск девять вертикальных заземлителей (электродов).

Конструкция рассчитанного контура заземления цеховой ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск, удовлетворяющего требованиям и нормам [1-4], представлена на рисунке 6.



1 – вертикальный заземлитель; 2 – горизонтальный заземлитель; 3 – заземляющий проводник  
(к оборудованию ТП)

Рисунок 6 – Конструкция контура заземления цеховой ТП-10/0,4 кВ

Проведён расчёт контура заземления, который устанавливается на цеховой ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск согласно требований нормативных документов [2-4].

#### **4 Расчет релейной защиты подстанции**

Согласно [1,18,19], к релейной защите и автоматике (РЗиА) систем электроснабжения предъявляются следующие основные требования: быстродействие; надёжность; селективность (избирательность); минимизация времени и затрат на монтаж, обслуживание и ремонт (экономичность).

Современные микропроцессорные устройства РЗиА, пришедшие на смену устаревшим электромагнитным, электромеханическим и индукционным реле, в полной мере отвечают данным требованиям [18,19]. В основе современных микропроцессорных РЗиА лежат надёжные и компактные интегральные микросхемы, которые имеют значительное преимущество перед устаревшими типами реле, указанными выше [18,19].

Последнее поколение микропроцессорных РЗиА выполняется в виде многофункциональных блоков (многоцелевые устройства), в которых объединены функции многих защит, устройств автоматики и сигнализации. Использование последних позволяет значительно уменьшить габариты устройств РЗиА, а также сократить затраты и время на монтаж, обслуживание и ремонт. Кроме того, по показателям надёжности и быстродействия современные микропроцессорные блоки защит значительно превосходят устаревшие аналоги на индукционной и электромагнитной базе.

В качестве микропроцессорной защиты на ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск выбираются блоки марки БМРЗ (производитель – НТЦ «Механотроника»), для автоматики – блоки марки БРЧН-100 [20], для центральной сигнализации – блоки марки БМЦС-40 [20]. Данные блоки РЗиА заменяют устаревшие индукционные и электромагнитные реле типа РТ-40, РТ-80, РТМ, РТВ, которые использовались ранее.

Выбор блоков РЗиА для установки на ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск представлен в таблице 22.



Таблица 22 – Выбор блоков РЗА для установки на ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск

Защищаемый элемент	Марка применяемых блоков РЗА	Основные реализуемые РЗА блока
Питающая воздушная линия 110 кВ	БМРЗ-150, БРЧН-100	МТЗ, ТО (ДЗ), ЗОЗ (БМРЗ-150); АПВ (БРЧН-100)
Силовые трансформаторы ТМН-6300-110/10У1	БМРЗ	ДЗ, МТЗ, ТО, ЗОЗ (БМРЗ)
Отходящие кабельные линии 10 кВ	БМРЗ-100	МТЗ, ТО (ДЗ), ЗОЗ (БМРЗ-100)
Секционный выключатель 10 кВ	БМРЗ-50, БРЧН-100	МТЗ, ТО (ДЗ), ЗОЗ (БМРЗ-50); АВР (БРЧН-100)
Сигнализация	БМЦС-40	Виды сигнализации: рабочая, аварийная, предупредительная, командная, контрольная, блокировочная, положений

Определение максимального рабочего тока для элементов системы электроснабжения с взаимным резервированием и с учётом подключения дополнительной нагрузки:

$$I_{\text{раб.макс}} = I_{\text{раб.макс}(н)} + I_{\text{раб.макс}(д)} \quad (69)$$

При этом

$$I_{\text{раб.макс}(н)} = K_o \cdot K_z I_{\text{макс}} \quad (70)$$

В работе принимается равенство основной и дополнительной нагрузки при расчёте максимального рабочего тока

$$I_{\text{раб.макс}(д)} = I_{\text{раб.макс}(н)} \quad (71)$$

На примере трансформатора ГПП на стороне ВН:

$$I_{\text{раб.макс}(\delta)} = I_{\text{раб.макс}(\eta)} = 23,84\text{А.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 23,84 + 23,84 = 47,68\text{А.}$$

Кроме того, необходимо рассчитать коэффициент трансформации трансформаторов тока. Вторичный ток трансформаторов тока в работе для всех защит принимается равным 5 А. Значение первичного номинального тока трансформаторов тока выбираются по номинальной шкале, исходя из значения максимального рабочего тока.

Для силового трансформатора ГПП на стороне ВН (110 кВ)  $I_{\text{раб.макс}} = 47,68$  А, следовательно,  $I_{\text{ном.ТТ1}} = 50$  А и  $K_T = 50/5 = 10$ . Результаты расчётов максимального рабочего тока и выбора коэффициента трансформации защищаемых элементов системы электроснабжения представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Результаты расчётов максимального рабочего тока и выбора коэффициента трансформации

Абонентское название потребителя	$I_{\text{раб.макс}}$ , А	$I_{\text{ном.ТТ1}}$ , А	$K_T$
Питающая ВЛ-110 кВ	47,68	50	10
Силовой трансформатор (сторона 10 кВ)	524,4	600	120
РУ-10 кВ ГПП			
Вводной выключатель	524,4	600	120
Секционный выключатель	374,6	400	80
Отходящие линии 10 кВ			
ГПП – ТП-1	133,2	150	30
ГПП – ТП-2	133,2	150	30
ГПП – ТП-3	133,2	150	30
ГПП – РП-1	62,8	75	15

Для защиты силового трансформатора ГПП в работе предусматриваются:

- максимальная токовая защита (МТЗ);
- дифференциальная токовая защита (ДЗ);
- защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ).

Все защиты силового трансформатора ГПП устанавливаются на стороне 10 кВ трансформатора, потому что рабочий ток на стороне 10 кВ больше, чем на стороне 110 кВ. Кроме того, на стороне 110 кВ для защиты трансформатора также применяется РЗ питающей ВЛ-110 кВ (по условиям резервирования и селективности).

Ток срабатывания МТЗ [18] определяется, исходя из двух условий.

Первое условие:

$$I_{с.з} \geq \frac{K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс}}{K_{\epsilon}}. \quad (72)$$

Значение тока уставки микропроцессорного реле МТЗ [18,19]

$$I_{с.р} \geq \frac{K_{сх}^{(3)}}{K_m} \cdot I_{с.з}, \quad (73)$$

где  $K_{сх}^{(3)}$  - коэффициент схемы.

Второе условие:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot (I_{раб.макс(н)} + K_{сзн} \cdot I_{раб.макс(д)}). \quad (74)$$

Коэффициент чувствительности [19]

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}^{(\kappa)}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,5. \quad (75)$$

где  $I_{\text{к.мин}}^{(\kappa)}$  - минимальный ток КЗ (ток двухфазного КЗ).

Для МТЗ трансформатора подстанции

$$I_{\text{с.з}} \geq \frac{1,1 \cdot 1,62 \cdot 524,4}{0,8} = 1168,1 \text{ А.}$$

При этом ток срабатывания реле равен

$$I_{\text{с.р}} \geq \frac{1}{120} \cdot 1168,1 = 9,7 \text{ А.}$$

Выбирается уставка микропроцессорного реле  $I_{\text{с.р}} = 10 \text{ А}$ .

Условия проверки по второму условию выполняется:

$$1168,1 \text{ А} \geq 1,3 \cdot (262,2 + 1,5 \cdot 262,2) = 852,15 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора достаточен

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{7210}{1168,1} = 6,17 > 1,5.$$

Для МТЗ трансформатора ГПП принято:  $I_{\text{с.з}} = 1168,1 \text{ А}$ ,  $I_{\text{с.р}} = 10 \text{ А}$ , время срабатывания (с условием селективности) – 1 с.

Ток срабатывания ДЗ трансформатора ГПП

$$I_{c.3} \geq \frac{K_{отс} \cdot K_n \cdot I_{раб.макс}}{K_\epsilon}. \quad (76)$$

Время срабатывания ДЗ трансформатора ГПП

$$t_{c.3} = 0,4 \text{ с.}$$

Коэффициент чувствительности ДЗ трансформатора ГПП

$$K_\epsilon = \frac{K_{cx}^{(\kappa)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{c.3}} \geq 2. \quad (77)$$

$$I_{c.3} \geq \frac{1,1 \cdot 1 \cdot 524,4}{0,8} = 721,1 \text{ А.}$$

Ток уставки микропроцессорного реле ДЗ трансформатора ГПП

$$I_{c.p} \geq \frac{1}{120} \cdot 721,1 = 6,0 \text{ А.}$$

Выбирается уставка микропроцессорного реле  $I_{c.p} = 6,0 \text{ А.}$

Коэффициент чувствительности ДЗ трансформатора ГПП достаточен

$$K_\epsilon = \frac{1}{1} \cdot \frac{7210}{721,1} \approx 10,0 > 2.$$

Для ЗОЗ силового трансформатора ГПП принято [1,18,19]

$$I_{c.з.зОЗ} = 100(\text{А}); t_{c.з.зОЗ} = 1,0(\text{с}).$$

Полученные значения уставок РЗ силового трансформатора ГПП приведены на графическом листе 4. Для защиты отходящих линий 10 кВ в работе предусматриваются следующие виды РЗ:

- двухступенчатая токовая защита (ДТЗ) – максимальная токовая защита с выдержкой времени (МТЗ) и токовая отсечка без выдержки времени (ТО);
- продольная дифференциальная токовая защита линий с абсолютной селективностью (ДЗ) – в случае недостаточной чувствительности ТО;
- защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ).

Расчёт МТЗ на примере линии 10 кВ ГПП – ТП-1:

$$I_{c.з} \geq \frac{1,1 \cdot 1,62 \cdot 133,2}{0,8} = 296,7 \text{ А.}$$

При этом ток срабатывания микропроцессорного реле МТЗ

$$I_{c.р} \geq \frac{1}{30} \cdot 296,7 = 9,8 \text{ А.}$$

Выбирается уставка микропроцессорного реле  $I_{c.р} = 10 \text{ А}$ .

Проверка выполняется

$$296,7 \text{ А} > 1,1 \cdot (66,6 + 1,3 \cdot 66,6) = 168,5 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности МТЗ линии достаточен

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{5980}{296,7} = 20,15 > 1,5$$

Для МТЗ линии 10 кВ ГПП – ТП-1:  $I_{\text{с.з}} = 296,7$  А,  $I_{\text{с.р}} = 10$  А,  $t_{\text{с.з}} = 0,5$  с.

Расчёт МТЗ остальных отходящих линий на напряжении 10 кВ и питающей линии 110 кВ выполнен аналогично (таблица 24).

Таблица 24– Результаты расчёта МТЗ отходящих линий 10 кВ и ВЛ 110 кВ

Абонентское название потребителя	$I_{\text{раб.макс}}$ , А	$I_{\text{ном.ТП}}$ , А	$K_T$	$I_{\text{с.з}}$ , А	$I_{\text{с.р}}$ , А	$K_{\text{ч}}$	$t_{\text{с.з}}$ , с
Питающая ВЛ-110 кВ	47,68	50	10	106,2	10,5	56,87	0,5
РУ-10 кВ ГПП							
Вводной выключатель	524,4	600	120	1168,1	10,0	6,17	1,0
Секционный выключатель	374,6	400	80	834,4	10,5	8,65	1,0
Отходящие линии 10 кВ							
ГПП – ТП-1	133,2	150	30	297,6	10,0	20,15	1,5
ГПП – ТП-2	133,2	150	30	297,6	10,0	20,15	1,5
ГПП – ТП-3	133,2	150	30	297,6	10,0	20,15	1,5
ГПП – РП-1	62,8	75	15	139,9	9,5	42,74	1,5

МТЗ устанавливается для защиты всех отходящих линий 10 кВ и питающей ВЛ-110 кВ, включая вводной и секционный выключатели 10 кВ на ГПП.

Второй ступенью защиты линий является токовая отсечка без выдержки времени (ТО). Ток срабатывания ТО без выдержки времени для линий с односторонним питанием выбирается по двум условиям [19].

Первое условие:

$$I_{\text{с.з}} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{к.макс}}, \quad (78)$$

где  $I_{к.макс}$  – ток трёхфазного КЗ;

$K_{отс}$  – коэффициент отстройки.

Второе условие:

$$I_{с.з} = K'_{отс} \cdot \sum I_{т.ном}. \quad (79)$$

Ток срабатывания микропроцессорного реле ТО

$$I_{с.р} \geq \frac{K_{сх}^{(3)}}{K_m} \cdot I_{с.з}. \quad (80)$$

Коэффициент чувствительности ТО

$$K_{ч} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (81)$$

где  $I_{к^{(к)}}_{нач.}$  – минимальный ток КЗ (ток двухфазного КЗ).

На примере линии 10 кВ ГПП – ТП-1 проводится расчёт уставок срабатывания токовой отсечки без выдержки времени:

$$I_{с.з} = 1,3 \cdot 8,33 \approx 10,83 \text{ кА.}$$

$$I_{с.з} = 1,3 \cdot 132,2 = 171,86 \text{ А.}$$

Принимается для ТО  $I_{с.з} = 10,83 \text{ кА.}$

Ток срабатывания микропроцессорного реле ТО



$$I_{c.p} = \frac{1}{30} \cdot 10830 = 361 \text{ А.}$$

Принимается  $I_{c.p} = 360 \text{ А}$ .

Коэффициент чувствительности ТО недостаточен

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{7210}{10830} = 0,67 < 1,2.$$

В результате проведения дальнейших расчётов ТО, было установлено, что для всех линий 10 кВ и питающей ВЛ-110 кВ коэффициент чувствительности комплектов ТО недостаточный, следовательно, для защиты всех этих линий вместо ТО без выдержки времени устанавливается продольная дифференциальная токовая защита линий с абсолютной селективностью, ток ДЗ принимается равный току срабатывания ТО: в сети 10 кВ -  $I_{c.з} = 10,83 \text{ кА}$ ; в сети 110 кВ -  $I_{c.з} = 9,07 \text{ кА}$ .

В результате выполнения раздела, выбраны уставки защиты:

- для защиты силового трансформатора ГПП: максимальная токовая защита (МТЗ), дифференциальная токовая защита (ДЗ), защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ);
- для защиты отходящих линий 10 кВ (включая вводные и секционный выключатели 10 кВ), а также питающей воздушной линии 110 кВ: максимальная токовая защита с выдержкой времени (МТЗ), продольная дифференциальная токовая защита линий с абсолютной селективностью (ДЗ), защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ).

## 5 Расчет молниезащиты подстанции

Проводится расчёт молниезащиты ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ  
г. Верхнеуральск.

Зона защиты четырех стержневых молниеотводов [20]

$$r_x = h_a \cdot \left[ 1,6 / \left( 1 + (h_x / h) \cdot p \right) \right], \quad (82)$$

где  $r_x$  – радиус действия молниеотвода, м;

$h_a$  – активная высота молниеотвода, м;

$h_x$  – высота наиболее высоких элементов ОРУ-110 кВ, м;

$h$  – высота молниеотвода, м.

Активная высота молниеотвода определяется с учётом наиболее высоких элементов ОРУ-110 кВ ГПП предприятия

$$h_a = h - h_x. \quad (83)$$

Наименьшая ширина зоны защиты с учётом активной высоты молниеотвода и расстояния между ближайшими молниеотводами

$$b_x = 4 \cdot r_x \cdot \left[ (7 \cdot h_a - a) / (14 \cdot h_a - a) \right], \quad (84)$$

где  $a$  – расстояние между молниеотводами, м.

Проверка принятых решений проводится по условию:

$$D \leq 8 \cdot h_a \cdot p, \quad (85)$$

где  $D$  – наибольшая диагональ четырёхугольника, м.

На основании приведённых расчётных формул (82) – (85) проводится

непосредственный расчёт молниезащиты ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск.

Осуществляется расчёт зоны защиты молниеотводов  $M_1 - M_4$  с параметрами:  $h=19$  м,  $h_a=8$  м,  $h_x = 11$  м.

$$r_x = (19 - 11) \cdot \left[ 1,6 / (1 + (11/19) \cdot 1) \right] = 8,11 \text{ м.}$$

$$b_x^I = 4 \cdot 8,11 \cdot \left[ (7 \cdot 8 - 21) / (14 \cdot 8 - 21) \right] = 12,48 \text{ м. } b_x^I / 2 = 6,24 \text{ м.}$$

$$b_x^{II} = 4 \cdot 8,11 \cdot \left[ (7 \cdot 8 - 43,5) / (14 \cdot 8 - 43,5) \right] = 5,92 \text{ м. } b_x^{II} / 2 = 2,96 \text{ м.}$$

$$D_1 \leq 8 \cdot 8 \cdot 1 = 64 \text{ м.}$$

$$D_1 = \sqrt{21^2 + 43,5^2} = 48,3 \leq 64 \text{ м.}$$

Проводится расчёт зоны защиты молниеотводов  $M_5$  и  $M_6$  с параметрами:  $h=17$  м,  $h_a=12$  м,  $h_x = 5$  м.

$$r_{x_1} = (17 - 5) \cdot \left[ 1,6 / (1 + (5/17) \cdot 1) \right] = 14,84 \text{ м.}$$

$$b_{x_1} = 4 \cdot 14,84 \cdot \left[ (7 \cdot 12 - 30) / (14 \cdot 12 - 30) \right] = 23,22 \text{ м. } b_{x_1} / 2 = 11,61 \text{ м.};$$

$$b_{x_2} = 4 \cdot 14,84 \cdot \left[ (7 \cdot 12 - 6) / (14 \cdot 12 - 6) \right] = 28,58 \text{ м. } b_{x_2} / 2 = 14,29 \text{ м.}$$

$$D_2 \leq 8 \cdot 12 \cdot 1 = 96 \text{ м.}$$

$$D_2 = \sqrt{30^2 + 6^2} = 30,6 \leq 96 \text{ м.}$$

План расположения объектов молниезащиты ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск представлена на рисунке 7.

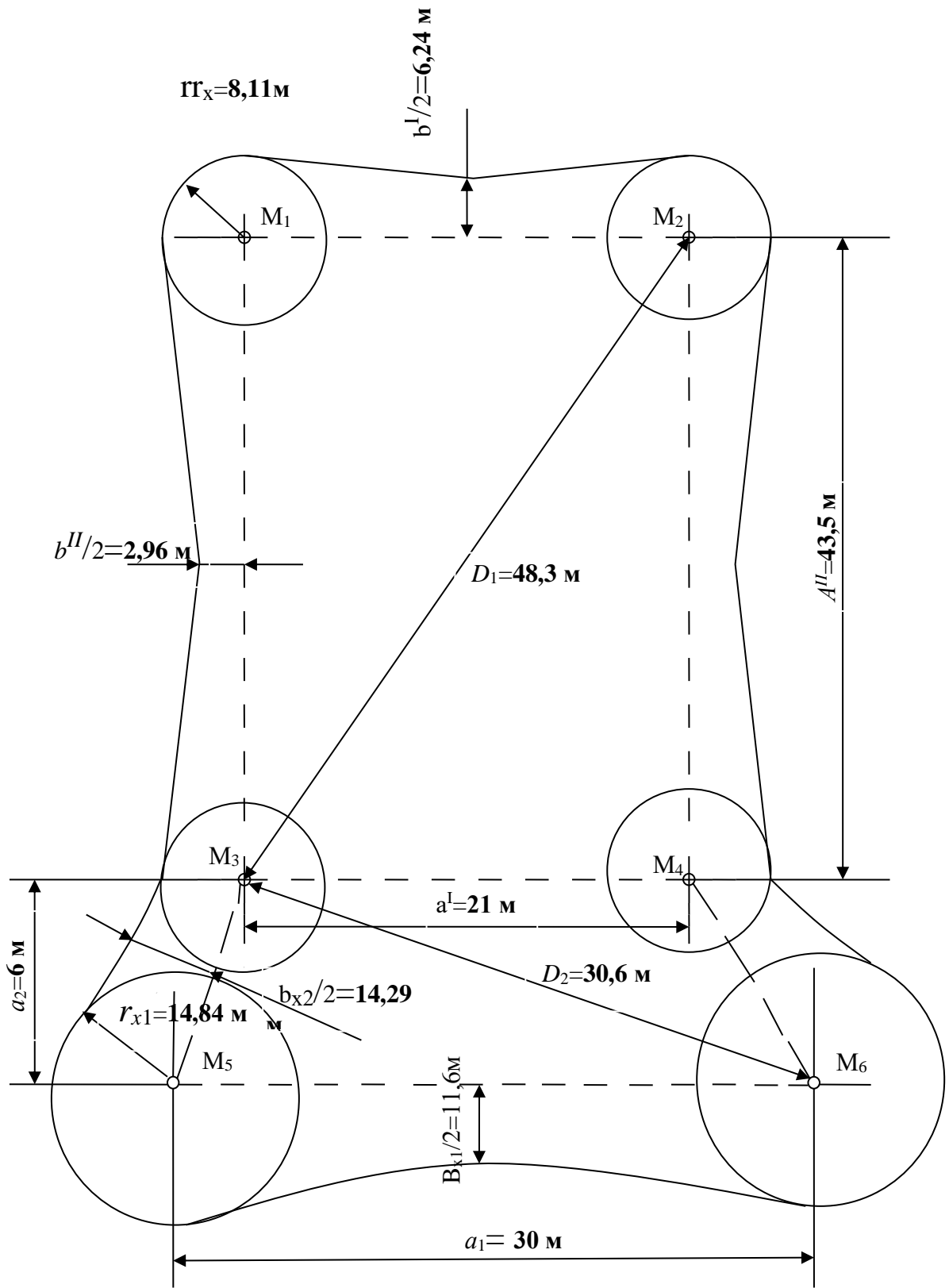


Рисунок 7 – План расположения объектов молниезащиты ГПП  
 предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск

В результате выполнения пятого раздела работы, осуществлён расчёт молниезащиты ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск на основании принятой методики и расчётных формул.

Система молниезащиты ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск состоит из шести стержневых молниеотводов, расположенных по периметру защищаемой ГПП предприятия.

Параметры молниезащиты ГПП в работе выбраны, исходя из радиуса действия молниеотвода, активной высоты молниеотвода, высоты наиболее высоких элементов ОРУ-110 кВ, фактической высоты молниеотвода, а также расстояния между молниеотводами с учётом плана размещения их на территории ГПП предприятия.

Детально представлен план расположения объектов молниезащиты ГПП предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск с учётом выбранных типов молниеотводов, расстояний между ними, а также их зоной защиты.

## Заключение

В результате выполнения работы спроектирована система электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск.

Осуществлён выбор напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения, при этом для внешнего электроснабжения применяется номинальное напряжение 110 кВ по радиальной схеме, внутреннее электроснабжение осуществляется на напряжениях 10 кВ по радиальной схеме (питающая сеть) и 0,38/0,22 кВ по радиальной и магистральной схемам (распределительная сеть).

На основании результатов расчёта нагрузок цехов и предприятия, на основании принятых методик, в работе решены следующие задачи:

- определён центр электрических нагрузок, построена картограмма нагрузок цехов и предприятия;
- принято для установки на ГПП предприятия две конденсаторные установки марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 с суммарной реактивной мощностью  $2 \cdot 300 = 600$  квар;
- выбраны для установки на ГПП предприятия два силовых трансформатора марки ТМН-6300-110/10У1;
- выбраны для установки на трёх цеховых ТП-10/0,4 кВ предприятия по два силовых трансформатора марки ТМ-1600/10У1;
- рассчитаны токи короткого замыкания;
- выбраны следующие проводники: питающая ВЛ-110 кВ – провод АС-70/11; кабельные линии от ГПП к цеховым ТП1-ТП3 – кабели марки АСБ-10(3х50); кабельные линии от ГПП к РП1 – кабели марки АСБ-10(3х25); кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ – кабели марки ВВГнг-LS различных сечений;

- выбраны следующие электрические аппараты: напряжением 110 кВ: выключатель марки ЛТВ-145D1/В-31,5/2000, разъединитель марки РГ-110/1000У1, трансформатор тока марки ТВТ-110, ограничители перенапряжений типа ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1; напряжением 10 кВ: выключатель марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48; трансформатор тока марки ТЛО-10; трансформатор напряжения марки НАМИ-10; ограничители перенапряжений типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

Также описаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности в системе электроснабжения предприятия. Проведён расчёт контура заземления, который устанавливается на цеховой ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО АЙРОН КИНГ г. Верхнеуральск.

Выбраны уставки релейной защиты:

- для защиты силового трансформатора ГПП: максимальная токовая защита (МТЗ), дифференциальная токовая защита (ДЗ), защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ);
- для защиты отходящих линий 10 кВ (включая вводные и секционный выключатели 10 кВ), а также питающей линии 110 кВ: максимальная токовая защита с выдержкой времени (МТЗ), продольная дифференциальная токовая защита линий с абсолютной селективностью (ДЗ), защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ).

Рассчитана молниезащита ГПП предприятия с применением шести стержневых молниеотводов.

В разработанной системе электроснабжения предприятия ООО АЙРОН КИНГ (г. Верхнеуральск) неукоснительно соблюдаются установленные нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

## Список используемой литературы

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
2. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. /В.С. Газалов. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. 268 с.
3. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2015. 261 с.
4. Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2018. 352 с.
5. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. – 5-е издание, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2014. 608 с.
7. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2016. 392 с.: ил.
8. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
9. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
10. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
11. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.



12. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. - Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова - М: Энергоатомиздат, 2016. 568 с.: ил.
13. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.
14. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.
15. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020.
16. Baranov L.A. Lighting engineering and electrical technology / L. A. Baranov, V. A. Zakharov -М .: Kolos, 2018.343 p.
17. GOST 32144-2013. Electric Energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems.
18. Mikhailov Yu.M. Labor protection during the operation of electrical installations. - М .: Publishing house "Alfa-Press", 2015. 224 p.
19. Rules for the device of electrical installations (PUE) / 7th ed. - М .: Alvis, 2018.632 p.
20. Safety regulations for the operation of electrical installations of consumers. - 4th ed., Rev. and add. - М: Energoatomizdat, 2017.174 p.