

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 металлургического завода

Обучающийся

А.Ю. Уткин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

## **Аннотация**

В работе выполнен проект системы электроснабжения металлургического завода.

Для решения поставленной задачи, в работе выполнен анализ исходных данных, на основании которого осуществлены мероприятия по проектированию системы электроснабжения металлургического завода.

На основе полученных результатов расчёта нагрузок потребителей, а также расчёта токов КЗ, в работе выбрана и обоснована схема электроснабжения объекта проектирования, осуществлён выбор проводников электрических сетей, а также электрических аппаратов на объекте.

Рассчитаны технико-экономические показатели разработанной системы электроснабжения металлургического завода, на основе которых сделаны выводы по целесообразности применения схемных решений и принятых мероприятий на объекте исследования.

В работе внедрены необходимые мероприятия по проектированию схемы электрических соединений системы электроснабжения металлургического завода, позволяющие повысить показатели надёжности, экономичности и электробезопасности объекта исследования.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных на проектирование .....	7
1.1 Техническая характеристика технологического процесса и объектов металлургического завода.....	7
1.2 Основные нормативы проектирования систем электроснабжения предприятий металлургии.....	16
2 Разработка системы электроснабжения металлургического завода.....	22
2.1 Выбор схемы электроснабжения металлургического завода.....	22
2.2 Расчёт электрических нагрузок .....	27
2.3 Выбор и проверка трансформаторов ГПП системы электроснабжения металлургического завода.....	31
2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	35
2.5 Выбор устройств компенсации реактивной мощности во внутренней системе электроснабжения металлургического завода.....	37
2.6 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения металлургического завода.....	39
2.7 Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения металлургического завода.....	45
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения металлургического завода .....	52
2.9 Монтажные работы по вводу в работу системы электроснабжения ...	58
3 Техничко-экономические показатели спроектированной системы электроснабжения .....	64
Заключение .....	70
Список используемых источников.....	74

## Введение

Известно, что металлургические предприятия являются энергоёмкими подразделениями тяжёлой промышленности, обеспечивая выплавку стали, чугуна и соединений из железа.

Усовершенствование технологического процесса в металлургическом комплексе тесно связано с применением новых перспективных технологий плавки металлов, автоматизацией основных производственных циклов, усовершенствованием логистической структуры поставки материалов, в первую очередь, первичных, для организации технологического процесса на заводах и комбинатах металлургической промышленности.

В металлургии за последние десятилетия произошёл значительный технологический прорыв: появились новые современные энергосберегающие технологии, которые были реализованы в технологическом процессе и оборудовании, за счёт чего была увеличена прибыль и снижены затраты на энергоресурсы, ремонты и обслуживание оборудования.

На многих металлургических заводах, в связи с вышеперечисленным, в последние годы проводится активное внедрение передовых инновационных технологий, позволяющих оптимизировать технологический процесс, значительно уменьшить энергопотребление, при этом не снижая количество и качество производимой продукции.

В связи с энергетическим кризисом и дефицитом ресурсов, приоритетом металлургической отрасли и тяжёлой промышленности в целом, является уменьшение энергозатрат на производственные и собственные нужды, таким образом, повышая эффективность использования ресурсной базы.

В конечном итоге, это также приводит к повышению экономических показателей, в частности, к снижению стоимости производимой продукции и, как результат, повышению конкурентоспособности и ликвидности капиталовложений.

Однако, все данные инновации можно реализовать также на стадии проектирования, руководствуясь всеми доступными преимуществами и разработками в сфере металлургии.

Известно, что одним из способов достижения желаемого эффекта является обеспечение качественного проектирования современных систем электроснабжения новых объектов металлургического завода, что обуславливает актуальность, значимость и практическую ценность данной работы.

Основной целью работы является разработка проекта системы электроснабжения металлургического завода, осуществляемая с целью ввода данного объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью.

Объектом исследования в данной работе является электрическая часть системы электроснабжения металлургического завода.

Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема электроснабжения объекта исследования, а также её составные части (силовые трансформаторы ГПП и цеховых ТП, электрические сети, аппаратура распределительных устройств).

Все составные части предмета исследования детально рассматриваются в работе.

Для качественной реализации цели работы, решаются следующие задачи:

- анализ исходных данных объекта проектирования с рассмотрением основных требований и норм, предъявляемых к системам электроснабжения металлургических комплексов. На основе проведённого анализа, предложены основные мероприятия по внедрению в проект электроснабжения на объекте исследования;
- проектирование системы электроснабжения металлургического завода с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов на всех звеньях электрической сети

объекта. Исходя из этого, на основе расчётных данных, выбираются для применения в работе современные технические решения, аргументированный выбор которых основан на анализе современных разработок и моделей ведущих мировых и отечественных производителей;

- расчёт технико-экономических показателей в системе электроснабжения металлургического завода.

Для достижения основной цели и решения поставленных задач, в работе используются следующие методы и подходы:

- методы анализа нормативной литературы;
- методы анализа экспериментальных данных;
- аналитический метод;
- методы аналогии;
- методы и подходы для расчёта электрических цепей;
- методы упрощения электрических сетей (с допущениями и интервалами);
- методы замещения электрических сетей и элементов электрических цепей;
- методы исследования и расчёта надёжности;
- экономические методы и подходы в электроэнергетике;
- методы планирования эксперимента.

Предлагаемая работа состоит из трёх разделов, и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов отрасли.

## **1 Анализ исходных данных на проектирование**

### **1.1 Техническая характеристика технологического процесса и объектов металлургического завода**

Рассматриваемый в работе объект проектирования является металлургическим заводом и относится к предприятиям металлургической промышленности.

В последнее время, в связи со значительным расширением производства при увеличении спроса на производимую продукцию, в условиях дефицита производственных мощностей и территории, а также необходимом сосредоточении всех производственных мощностей в одном месте, остро стал вопрос о сооружении одной общей производственной базы в виде металлургического завода, на котором будет осуществляться весь технологический процесс производства металлов и их сплавов с учётом новых технологий, планируемых к внедрению на предприятии.

По этой причине данный вопрос сооружения и ввода в эксплуатацию собственной системы электроснабжения металлургического завода, является актуальной задачей.

Исходя из технологии и необходимости производства, на проектируемом металлургическом заводе, планируется производить следующие виды продукции:

- прокат чёрных металлов и их сплавов (участок чёрной металлургии);
- прокат цветных металлов и их сплавов (участок цветной металлургии);
- сопутствующая продукция.

Весь процесс и технология производства продукции в системе электроснабжения металлургического завода должен соответствовать основным современным требованиям и нормам.

Поэтому, исходя из требуемой производимых видов продукции, которую планируется производить на проектируемом металлургическом заводе, можно сделать вывод, что с учётом совершенно различной технологии производства, они не могут быть объединены в один технологический корпус (линию).

С учётом этого, на рассматриваемом в работе металлургическом заводе планируется пять основных производственных цеха, которые будут вносить основной вклад в процесс изготовления готовой продукции.

Исходя из технологического процесса производства готовой продукции, к основным производственным цехам и участкам металлургического завода относятся:

- цех подготовки первичного материала – необходим для подготовки и очистки первичного материала для выплавки металла (очистки руды от шихты, пыли, грязи и примесей);
- доменный сталелитейный цех – в нём выплавляются сталь и чугун, а также некоторые ферросплавы. В основе цеха находятся мощные доменные печи (печи непрерывного действия);
- мартеновский сталелитейный цех – служит для выплавки стали и чугуна «мартеновским» методом, а также некоторых типов сплавов на основе чёрных и цветных металлов. В основе цеха находятся мощные доменные печи (печи периодического действия);
- конвертерный цех – используется для непосредственного процесса изготовления высоколегированных чистых марок стали;
- сталелитейный цех цветных металлов – необходим для выплавки и литья цветных металлов и их сплавов.

Доменный сталелитейный цех, мартеновский сталелитейный цех, конвертерный цех и сталелитейный цех цветных металлов, являются основными производственными подразделениями проектируемого металлургического завода.

На проектируемом металлургическом заводе применяется технология непрерывной разливки металлов, являющейся современной и менее энергоёмкой технологией, по сравнению с аналогичными устаревшими технологиями.

«Непрерывная технология разливки стали состоит в том, что жидкую сталь из ковша 1 через промежуточное разливочное устройство 2 непрерывно подаются в водоохлаждаемую изложницу без дна - кристаллизатор 3, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток 5 (рисунок 1)» [16]. «После прохождения тяговых роликов 6, затравку отделяют. Окончательное затвердевание в сердцевине происходит в результате вторичного охлаждения водой из форсунок 4. Затем затвердевший слиток попадает в зону резки, где его разрезают газовым резаком 7, на куски заданной длины (рисунок 1)» [16].

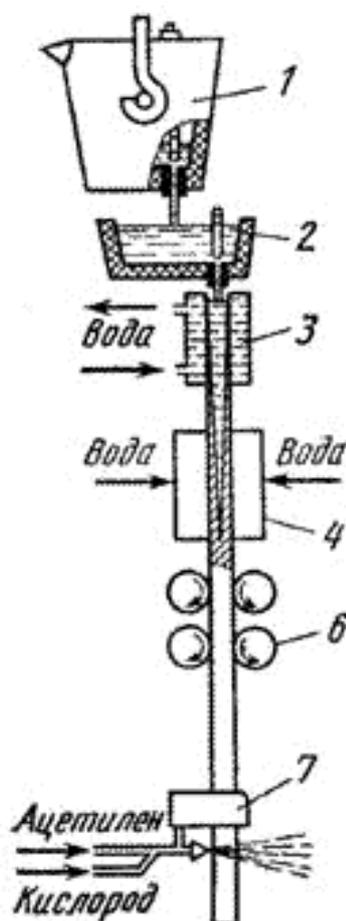


Рисунок 1 – Схема непрерывной разливки металлов на металлургическом заводе

Реализация готовой продукции (проката чёрных и цветных металлов, а также их сплавов) на металлургическом заводе осуществляется непосредственно со складских комплексов оптовым и розничным покупателям согласно установленной финансово-экономической политике управляющей компании и сбора акционеров рассматриваемого в работе предприятия.

Обязательный контроль полученной продукции чёрного и цветного литья, должна осуществлять лаборатория контроля качества, в которой имеются всё необходимое современное оборудование для обеспечения данного процесса.

Также первичный контроль осуществляется в цеху приёма и обработки первичного сырья.

В современной экономике предприятий металлургического комплекса крайне необходимо также использовать все возможности для получения прибыли, исходя из производимой продукции [12].

Поэтому помимо процесса изготовления продукции, на металлургическом заводе, также необходимо предусмотреть участки, которые будут заниматься обеспечением технологического процесса проектируемого металлургического завода.

Это значительно повысит спрос выпускаемой продукции металлургического завода в реалиях современной экономики, а также удешевит выпускаемую продукцию путём снижения затрат на энергоресурсы в целом.

Также для привлечения партнёров и покупателей с целью рекламирования производимой продукции, а также её реализации, на металлургическом заводе необходимо предусмотреть торговый комплекс.

Поэтому помимо основных цехов производства, описанных выше, на территории проектируемого в работе металлургического завода, согласно исходным данным, расположены следующие вспомогательные цеха и

участки, которые, собственно, также относятся к системе электроснабжения металлургического завода:

- насосная (включая высоковольтные двигатели);
- компрессорная (включая высоковольтные двигатели);
- котельная;
- лаборатория контроля качества;
- участок ремонта и обслуживания (совокупность технических служб отдела главного инженера);
- административно-техническое здание;
- торговый комплекс;
- железнодорожный узел;
- погрузочно – разгрузочный узел;
- автопарк;
- кислородный цех;
- приёмно-сдаточная площадка;
- медпункт, столовая, проходная;
- испытательный участок;
- складские комплексы (склад материалов и склад готовой продукции).

Все перечисленные в работе вспомогательные цеха и участки оказывают непосредственное влияние на вспомогательный технологический процесс производства и реализации готовой продукции металлургического завода. По этой причине они также должны быть включены в проектируемую систему электроснабжения металлургического завода.

Исходные технические данные приведённых производственных, вспомогательных цехов и участков рассматриваемого и проектируемого в работе металлургического завода, приведены в таблице 1.

В таблице 1 указана проектная мощность  $P_{np}$ , кВт, для каждого участка (цеха), исходя из совокупности оборудования, которое в них должно быть

установлено согласно технологическому процессу производства готовой продукции металлургического завода.

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов и участков металлургического завода

Номер цеха по плану	Наименование цеха (участка)	Технологическое назначение	Рпр, кВт
1	Склад материалов	Неосновной вспомогательный	240
2	Склад готовой продукции	Неосновной вспомогательный	280
3	Мартеновский сталелитейный цех	Основной производственный	2932
4	Сталелитейный цех цветных металлов	Основной производственный	1500
5	Цех приёма и обработки первичного материала	Основной производственный	1198
6	Насосная (0,4 кВ)	Неосновной производственный	1245
	Насосная (10 кВ)	Неосновной производственный	2780
7	Железнодорожный узел	Неосновной производственный	870
8	Погрузочно – разгрузочный узел	Неосновной производственный	825
9	Конвертерный цех	Основной производственный	1880
10	Доменный сталелитейный цех	Основной производственный	8075
11	Лаборатория контроля качества	Неосновной производственный	1980
12	Компрессорная (0,4 кВ)	Неосновной производственный	1512
	Компрессорная (10 кВ)	Неосновной производственный	3920
13	Участок ремонта и обслуживания	Неосновной производственный	2390
14	Котельная	Неосновной производственный	2155
15	Автопарк	Неосновной вспомогательный	640
16	Кислородный цех	Неосновной производственный	685
17	Приёмо-сдаточная площадка	Неосновной вспомогательный	170
18	Административно-техническое здание	Неосновной вспомогательный	235
19	Медпункт, столовая, проходная	Неосновной вспомогательный	75
20	Торговый комплекс	Неосновной вспомогательный	95
21	Испытательный участок	Неосновной производственный	500
Всего по металлургическому заводу			36182

Исходный план расположения приведённых в таблице 1 производственных и вспомогательных цехов и участков металлургического завода в принятом масштабе, а также с учётом их взаимного расположения и указания направления и длины линии от источника питания, в данной работе представлен на рисунке 2 и на графическом листе 1.

После выполнения проектирования, на данный лист также наносятся сети (питающие и распределительные).

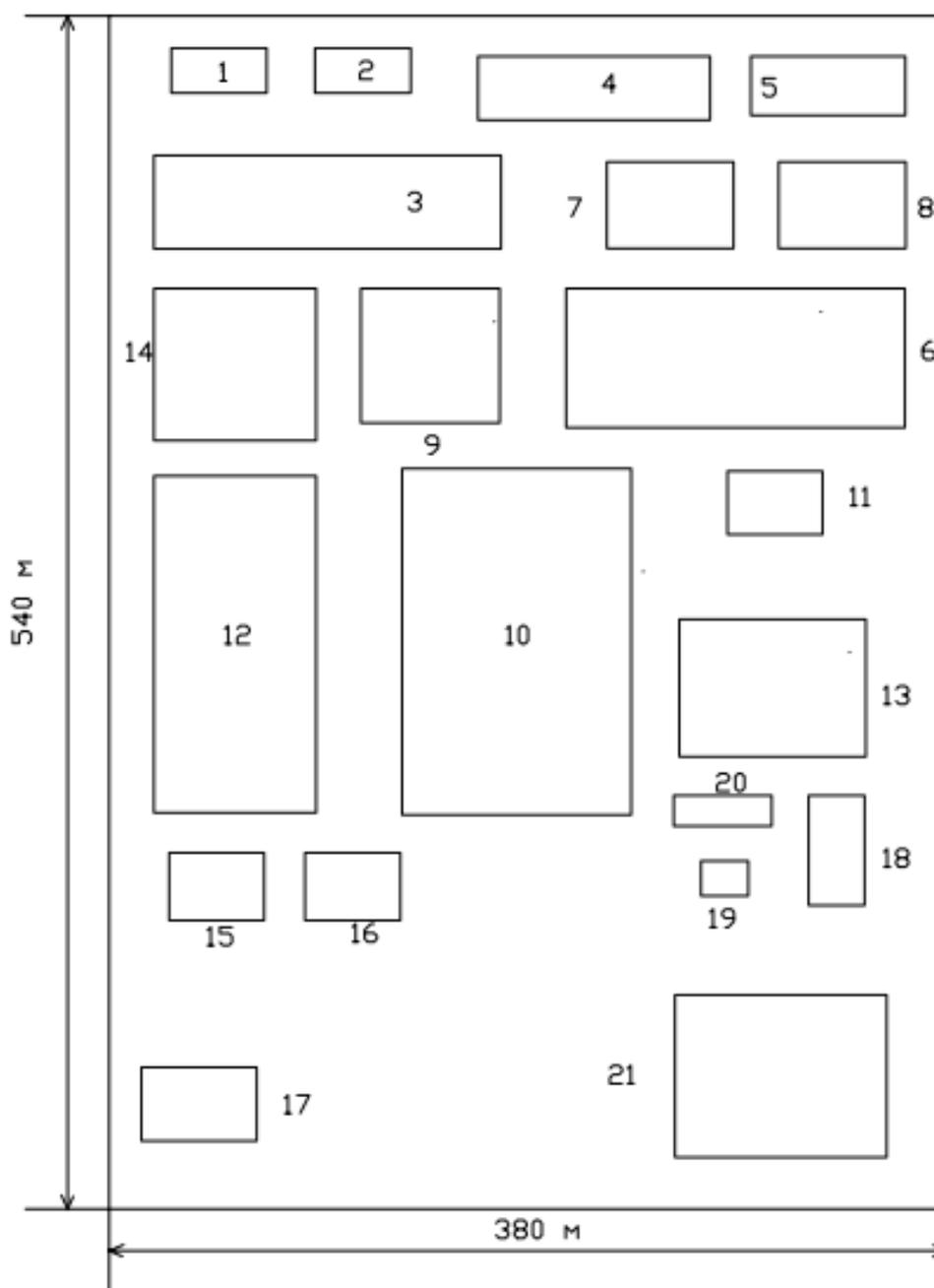


Рисунок 2 – План расположения цехов металлургического завода

Далее в работе необходимо провести детальный анализ исходных технических данных цехов и участков металлургического завода.

Анализ предусматривает их классификацию по следующим направлениям:

- по принадлежности к категории надёжности потребителей и оборудования;
- по особенностям производственной среды помещений, в которых осуществляется технологический процесс.

Принадлежность к категории надёжности цехов и участков металлургического завода существенно влияет на их схему электроснабжения, а классификация по особенностям производственной среды – на выбор оборудования и проводников.

Известно, что на характер среды в первую очередь оказывает влияние технология производства, которая характеризуется определённой температурой, влажностью, химической средой, запылённостью, а также прочими аналогичными климатическими показателями.

Данные параметры среды напрямую способны влиять на показатели оборудования, в особенности на токоведущие части и изоляцию.

При этом первые подвергаются как перегреву, так и окислительно-восстановительным процессам, а вторые – перегреву и порче защитной оболочки, что приводит к резкому износу и выходу из строя.

При анализе производственной среды учитывается также режим работы (продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный), на основании которого возможно наличие или отсутствия того или иного фактора среды в полной мере.

Результаты проведённого анализа и систематизация цехов и участков проектируемого металлургического завода по категориям надёжности их потребителей, а также по особенностям производственной среды в их помещениях, сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Систематизация цехов и участков проектируемого металлургического завода по категориям надёжности и условиям производственной среды

Номер цеха по плану	Наименование цеха (участка)	Категория надёжности потребителей цеха	Характеристика производственной среды
1	Склад материалов	III категория	Нормальная
2	Склад готовой продукции	III категория	Нормальная
3	Мартеновский сталелитейный цех	II категория	Жаркая, сухая
4	Сталелитейный цех цветных металлов	I категория	Жаркая, сухая
5	Цех приёма и обработки первичного материала	I категория	Сухая
6	Насосная (0,4 кВ)	I категория	Влажная
	Насосная (10 кВ)		
7	Железнодорожный узел	II категория	Пыльная
8	Погрузочно – разгрузочный узел	II категория	Пыльная
9	Конвертерный цех	I категория	Жаркая, сухая
10	Доменный сталелитейный цех	I категория	Жаркая, сухая
11	Лаборатория контроля качества	II категория	Нормальная
12	Компрессорная (0,4 кВ)	I категория	Сухая
	Компрессорная (10 кВ)		
13	Участок ремонта и обслуживания	II категория	Нормальная
14	Котельная	I категория	Жаркая, сухая
15	Автопарк	III категория	Нормальная
16	Кислородный цех	III категория	Жаркая, сухая
17	Приёмо-сдаточная площадка	III категория	Нормальная
18	Административно-техническое здание	III категория	Нормальная
19	Медпункт, столовая, проходная	III категория	Нормальная
20	Торговый комплекс	III категория	Нормальная
21	Испытательный участок	II категория	Нормальная

Помимо основных производственных цехов и участков, к I категории отнесены также насосная, котельная и компрессорная, так как перерыв в их электроснабжении может привести к аварии на объекте и порче дорогостоящего оборудования, а также непосредственной угрозе безопасности и жизни людей.

С учётом приведённых норм и характеристики технологического процесса, а также классификации производственных и вспомогательных цехов и участков проектируемой системы электроснабжения металлургического завода, далее в работе проводится решение поставленных основных задач по разработке мероприятий по проектированию системы электроснабжения и оборудования объекта исследования.

## **1.2 Основные нормативы проектирования систем электроснабжения предприятий металлургии**

Далее в работе необходимо привести основные нормы и требования к проектированию систем электроснабжения металлургических предприятий, к которым относится и система электроснабжения металлургического завода, являющейся объектом исследования в данной работе.

По специфике и составу, системы электроснабжения металлургических предприятий относятся к системам электроснабжения классического либо индивидуального типа [8].

При этом, в зависимости от мощности, металлургическое предприятие может питаться как от главной понизительной подстанции (собственной или энергосистемы), так и от собственной электростанции (как правило, ТЭЦ).

Следовательно, классическому типу системы электроснабжения металлургических предприятий, характерны следующие основные принципы построения:

- наличие понизительной подстанции, получающей питание от энергосистемы;

- наличие трансформаторных цеховых подстанций, которые питают потребители цехов предприятия;
- резервное питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности;
- применение радиальных схем в питающей системе электроснабжения объекта;
- применение смешанных схем в распределительной системе электроснабжения объекта;
- установка коммутационных и защитных аппаратов от внешних и внутренних повреждений;
- минимум промежуточных звеньев при передаче электроэнергии;
- применение автоматики для обеспечения резерва в сети;
- разделение секций на две и более для резерва сети (резервирование и секционирование системы).

При применении индивидуальных схем питания, их основное отличие от классических схем будет выражаться в том, что источником питания будет являться собственная станция.

Это может быть ТЭЦ либо небольшая ТЭС.

Применение первого варианта даёт значительно лучшие технико-экономические результаты.

При этом, в зависимости от мощности, металлургическое предприятие может питаться от собственной электростанции (как правило, ТЭЦ) либо от централизованного отдельного блока ТЭС.

Варианты внешнего электроснабжения системы электроснабжения металлургических заводов представлены на рисунке 3.

На рисунке 3 представлены следующие варианты внешнего электроснабжения системы электроснабжения металлургических заводов: от собственной ГПП с питанием от ПС энергосистемы (а), с прямым питанием от ПС энергосистемы (б), с питанием через ПГВ от энергосистемы (в).

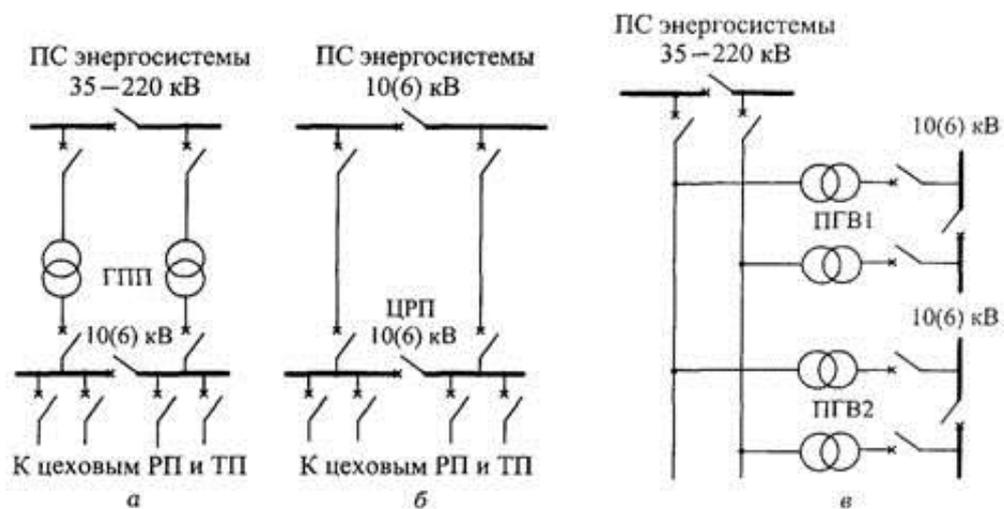


Рисунок 3 – Варианты внешнего электроснабжения системы электроснабжения металлургических заводов: от собственной ГПП с питанием от ПС энергосистемы (а), с прямым питанием от ПС энергосистемы (б), с питанием через ПГВ от энергосистемы (в)

Известно, что предприятия металлургического комплекса относятся к 1 и 2 категориям надёжности. Следовательно, они требуют особых условий построения схем с учётом резервирования. Принцип обеспечения резервирования в схемах электроснабжения металлургических заводов, представлен на рисунке 4.

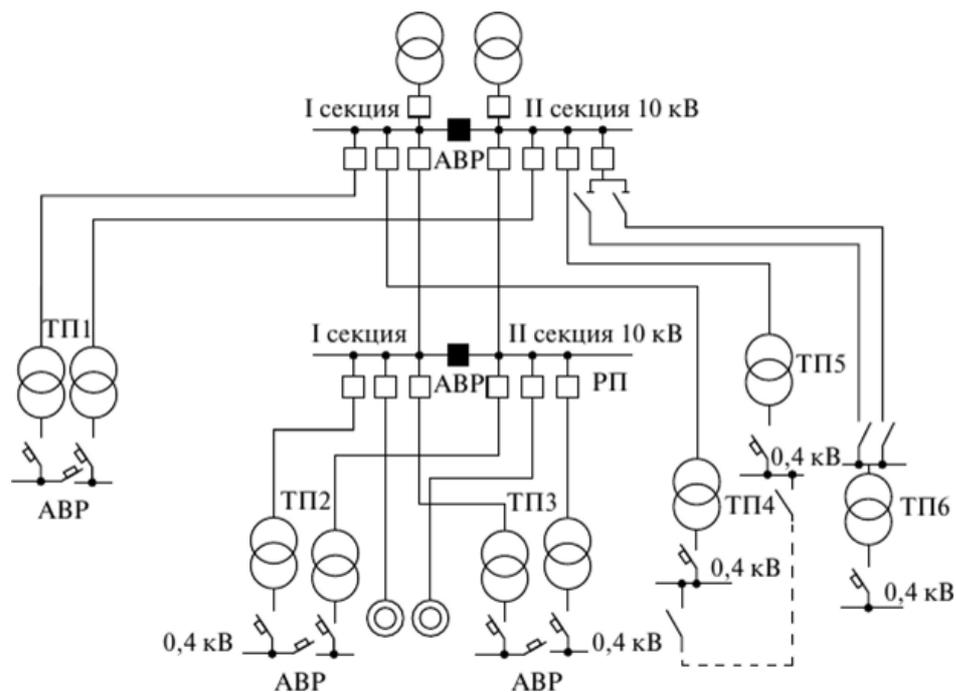


Рисунок 4 – Принцип обеспечения резервирования в схемах электроснабжения металлургических заводов

Известно, что основные нормы и требования при проектировании систем электроснабжения металлургических предприятий, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований [12]:

- надёжности отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;
- экономичности передаче электроэнергии на всех звеньях цепи в системе электроснабжения;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ на оборудовании в системе электроснабжения;
- возможность модернизации и расширения распределительных устройств подстанций систем электроснабжения;
- удобство монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования систем электроснабжения в целом;
- применение передовых технологий в сфере разработки оборудования для применения в системах электроснабжения;
- использование передовых и экономичных схемных решений в системах электроснабжения;
- применение негабаритных конструкций;
- обеспечение постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования и сетей систем электроснабжения;
- применение качественного и достаточного аппарата автоматизации всех процессов в системах электроснабжения;
- соблюдение и контроль параметров электроэнергии, передаваемой потребителям на всех уровнях;
- возможность локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии;
- контроль перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы системы электроснабжения;

- обеспечение ограничения ненормальных режимов всех звеньев цепи;
- обеспечение экономичности при передаче электроэнергии, а также при ремонте, обслуживании и модернизации систем электроснабжения.

Известно, что обеспечение требуемых качеств электроэнергии, а также надежности и экономичности при передаче электроэнергии потребителям в энергосистеме, являются основными задачами в современных системах электроснабжения [1,4].

Данному вопросу следует уделить особое внимание при проектировании систем электроснабжения предприятий металлургии, так как очень часто данные показатели находятся в недопустимых критических пределах вследствие использования нелинейных сталеплавильных печей, имеющих индуктивную составляющую и провоцирующих появление высших гармоник и, как следствие, значительное искажением синусоидальности параметров сети.

Все приведённые требования должны быть учтены в работе при разработке проекта металлургического завода.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, приведён исходный анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения металлургического завода, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по производственной среде.

Детально рассмотрены основные нормы и требования, предъявляемые к проектированию систем электроснабжения металлургических предприятий.

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта.

Рассмотрены основы проектирования систем электроснабжения металлургических заводов и комбинатов.

Установлено, что в схемах данных объектов крайне необходимо обеспечить наличие резерва, а также надёжного питания и защиты на всех звеньях.

При этом отмечено, что системы электроснабжения объектов металлургической промышленности, могут выполняться по классическим схемам электроснабжения (при питании от энергосистемы), а также по индивидуальным схемам электроснабжения (при питании от собственной ТЭЦ или ТЭС).

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения металлургического завода, обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

Поставленные задачи по проектированию системы электроснабжения металлургического завода решаются в работе далее с применением перспективных технических решений и современных расчётных методик.

## **2 Разработка системы электроснабжения металлургического завода**

### **2.1 Выбор схемы электроснабжения металлургического завода**

На основании исходных данных к выполнению работы, а также с учётом приведённых в первом разделе норм и требований нормативных документов, проводится аргументированный выбор схемы электрических соединений проектируемой «системы электроснабжения металлургического завода» [1].

«На первом этапе выбора необходимо определить номинальные классы напряжения» [1], тип источника питания (ГПП, ЦРП или РП), а также количество источников питания металлургического завода.

В «системе электроснабжения металлургического завода преобладают потребители I и II-й категории по надёжности электроснабжения, поэтому внешнее электроснабжение данного объекта осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой» [2] на источнике питания системы электроснабжения объекта двух силовых трансформаторов.

Далее проводится аргументированный выбор источника питания системы внешнего электроснабжения металлургического завода. Электроснабжение объекта может осуществляться от ПС 110/35/10кВ.

В качестве источника внешнего электроснабжения объекта проектирования рассматриваются три основных варианта:

- питание от «центрального распределительного пункта (далее – ЦРП)» [1];
- «питание от распределительного пункта (далее – РП)» [1];
- «питание от главной понизительной подстанции (далее – ГПП)» [1].

Распределительный пункт, а также центральный распределительный пункт, не подходят для внешнего электроснабжения объекта проектирования в виду отсутствия близости источников внешнего питания номинальным напряжением 6(10) кВ, а также относительно небольшой мощности

современных РП, которые, в основном, используются в локальных внутренних схемах [10].

Следовательно, для обеспечения питания внешней системы электроснабжения металлургического завода, в «работе необходимо применять главную понизительную подстанцию» [1].

Для определения экономической целесообразности величины внешнего напряжения применяется известная формула Илларионова:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}}, \quad (1)$$

где  $L$  – «длина питающей линии, км» [10];

$P$  - «передаваемая мощность в сети, МВт» [12].

«По условию (1) для ГПП металлургического завода» [1]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/20 + 2500/36,182}} = 103,1 \text{ кВ}.$$

Исходя из полученных результатов расчёта, принимается «ближайшее стандартное значение номинального напряжения, равного 110 кВ» [1].

«При выборе низшего напряжения на ГПП металлургического завода, из стандартного номинального ряда напряжений, принимается напряжение 10 кВ, которое гораздо более эффективнее и экономически целесообразнее напряжения 6 кВ» [7].

Далее выбирается тип схемы питающей сети ГПП-110/10 кВ металлургического завода. Структурные схемы питающей сети ГПП-110/10 кВ металлургического завода приведены в [18]. После проведения соответствующего их анализа, выбирается требуемая структурная схема для внешнего питания объекта и схема ГПП-110/10 кВ (рисунок 5).

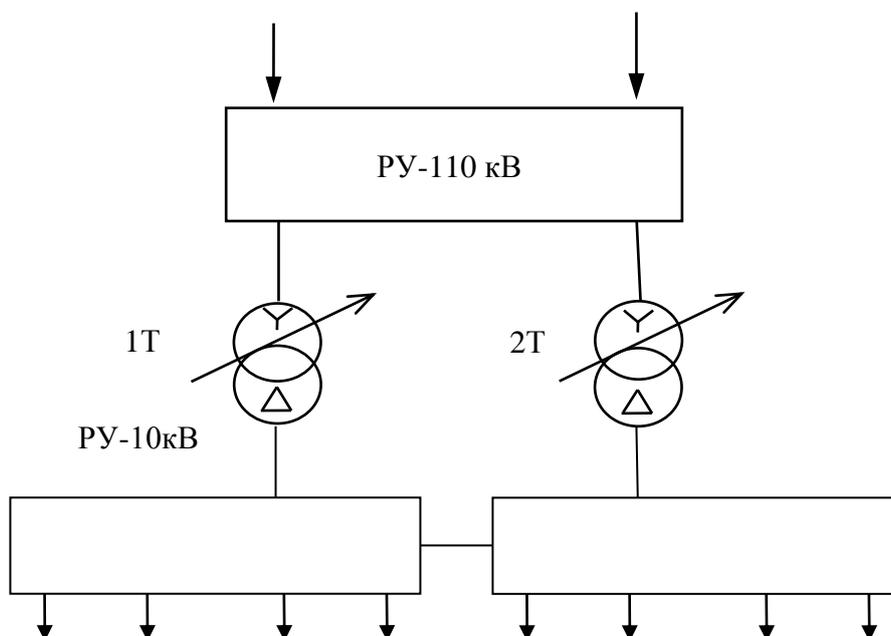


Рисунок 5 – Уточнённая структурная схема ГПП-110/10кВ системы электроснабжения металлургического завода

«Принятая в работе схема электрических соединений РУ-10 кВ ГПП-110/10кВ» [1] системы электроснабжения металлургического завода представлена в графической части работы (лист 2).

План расположения выбранного оборудования на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения металлургического завода, после его выбора в работе далее, представлен на графическом листе 3.

ГПП целесообразнее установить в центре электрических нагрузок, но сооружение подстанции в данном месте невозможно, поэтому переносим подстанцию в наиболее благоприятное для строительства место.

Положение места для строительства ГПП показано на графическом листе 1.

Для оперативных переключений на ГПП принимается «схема внешнего электроснабжения в виде двух блоков с выключателями и неавтоматической перемычкой» [1].

Схема оперативного режима ГПП проектируемой системы электроснабжения металлургического завода представлена на рисунке 6.

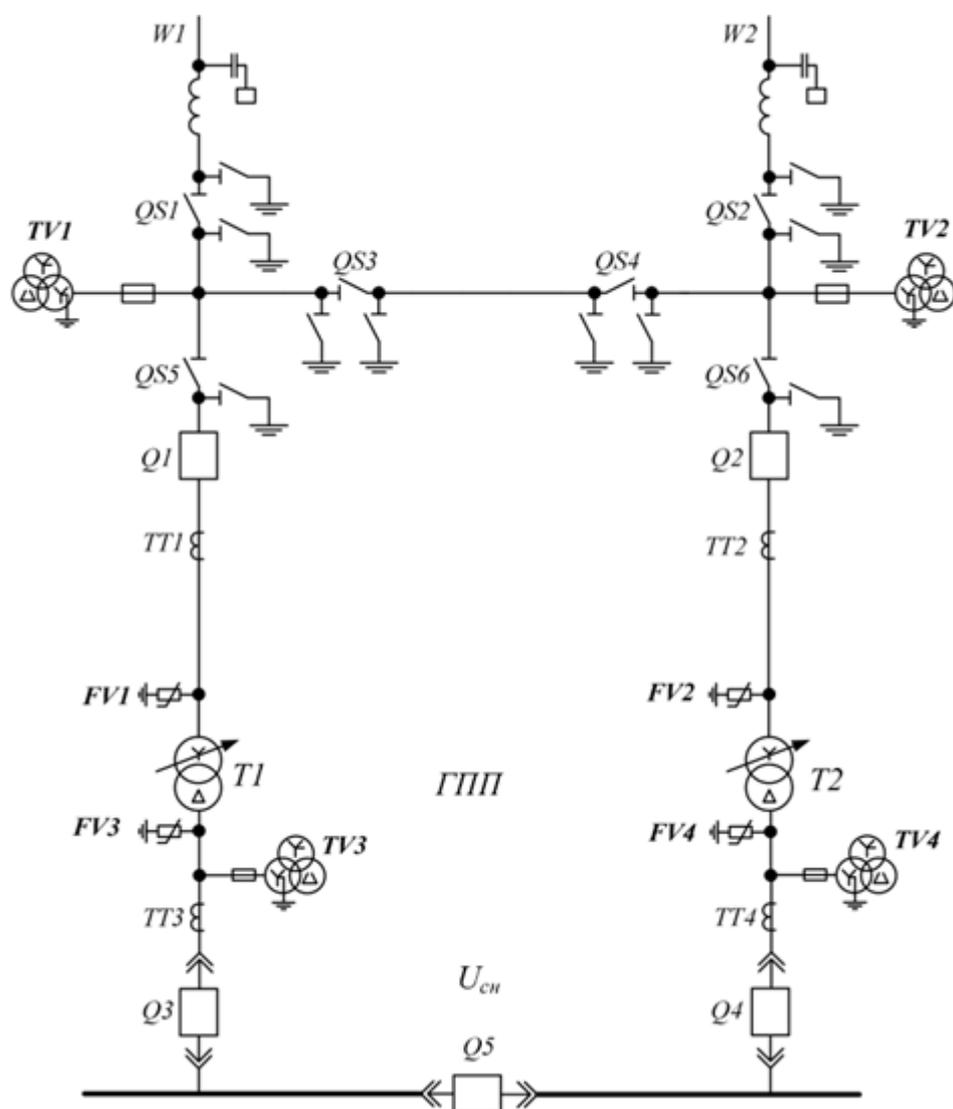


Рисунок 6 – Схема оперативного режима ГПП проектируемой системы электроснабжения металлургического завода

От ГПП-110/10 кВ питаются цеховые ТП-10/0,4 кВ, образуя вторую ступень трансформации и распределения в схеме.

Для питания всех цеховых ТП-10/0,4 кВ принимается двухступенчатая радиальная схема.

При этом планируется установка на всех ТП-10/0,4 кВ по два силовых трансформатора с целью обеспечения питания потребителей I и II категорий надёжности.

Магистральная схема в данном случае не применяется, так как не обеспечивает достаточного уровня надёжности.

Резервирование на ТП-10/0,4 кВ обеспечено с помощью секционных автоматических выключателей, установленных конструктивно в РУ-0,38 кВ на каждой цеховой ТП. Такая схема технически надёжная и экономичная, следовательно, может быть принята в работе.

Кроме того, отдельными кабельными линиями от РУ-10 кВ ГПП по радиальной схеме (без резервирования внутренней структуры) осуществляется питание высоковольтных двигателей насосной и компрессорной.

Из каждой пары высоковольтных электродвигателей, один получает питание от первой секции сборных шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП, а второй двигатель – от второй секции 10 кВ РУ-10 кВ ГПП.

Режим работы двигателей – отдельный, причём постоянно работает только один двигатель, второй находится в резерве. При недостатке мощности или резком увеличении нагрузки, в схеме нормальных соединений возможен параллельный запуск обоих высоковольтных двигателей.

Таким образом, данная схема питания высоковольтных двигателей системы электроснабжения металлургического завода обладает достаточной гибкостью. При такой схеме обеспечивается поочерёдное (парное «сквозное» резервирование), при котором при выходе из строя одного двигателя автоматически включается второй, покрывая потребность в необходимой мощности насосной.

Внешняя схема распределительного электроснабжения металлургического завода на напряжении 0,38/0,22 кВ выполняется по радиальной схеме.

Внутренняя схема распределительного электроснабжения металлургического завода на напряжении 0,38/0,22 кВ выполняется по смешанной схеме и в работе не рассматривается.

Такая схема полностью соответствует условиям питания ответственных «потребителей системы электроснабжения металлургического завода согласно» [10].

## 2.2 Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок разработанной схемы электрических соединений системы электроснабжения металлургического завода.

Расчёт нагрузок электрических соединений системы электроснабжения металлургического завода в работе проводится с использованием метода коэффициента спроса [4].

Коэффициент спроса показывает, на сколько загружен мощностью типичный потребитель цеха (участка) предприятия, исходя из технологии производства.

Коэффициент спроса принимается в зависимости от режима работы оборудования объекта, с учётом вида режима. Как правило, для продолжительного режима принимается значение  $K_c = 0,5 - 1,0$ , для кратковременного  $K_c < 0,5$ .

Такой способ позволяет учесть не только максимальную нагрузку, но и режим нагрева и охлаждения оборудования с учётом режима его работы [11].

Известно, что в сети переменного тока расчёту подлежат активная, реактивная и полная расчётные электрические нагрузки [15].

Численное значение «расчётной активной нагрузки силовых потребителей до 1 кВ цехов и участков проектируемого металлургического завода, кВт» [8]:

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (2)$$

где  $P_n$  – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха

(участка) проектируемого металлургического завода, кВт» [8];

$K_c$  – «справочное значение коэффициента спроса цеха» [8] (участка)

проектируемого металлургического завода.

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников металлургического завода, квар» [6]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  – «значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [8].

Принимается по справочным данным. Соответствует стандартному значению  $\cos\varphi$ .

В работе, помимо силовой расчётной нагрузки объекта, также необходимо провести расчёты осветительной нагрузки металлургического завода, исходя из площади, которая подлежит освещению.

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого металлургического завода, кВт» [11]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{н.o}, \quad (4)$$

где « $K_{c.o}$  – справочный коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого металлургического завода» [4];

« $P_{н.o}$  – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого металлургического завода, кВт» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{н.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

где « $P_{уд.o}$  – нормируемая удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого металлургического завода, кВт/м<sup>2</sup>» [4];

« $F$  – площадь соответствующего завода согласно генплану, м<sup>2</sup>» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников металлургического завода» [1]:

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

«Полная расчётная силовая нагрузка» [7] определяется по условиям:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

Расчёт нагрузок в работе проводится с учётом потерь в элементах сети. Как правило, максимальными потерями, которыми нельзя пренебречь, являются нагрузочные потери в силовых трансформаторах на ГПП и цеховых ТП [17].

«Предварительные потери мощности на ТП-10/0,4 кВ» [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{p.н}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{p.н}, \text{ квар}. \quad (9)$$

«Предварительные потери активной мощности на ГПП» [16]:

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p.Σ}, \text{ кВт}, \quad (10)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{p.Σ}, \text{ квар}. \quad (11)$$

Основой для дальнейших расчётов и выбора оборудования и сетей является суммарная расчётная «нагрузка цехов (участков) и металлургического завода в целом» [1].

«Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения металлургического завода сведены в таблицу 3» [1].

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения металлургического завода

Наименование цеха	Силовая нагрузка			Осветительная нагрузка			Суммарная расчетная нагрузка		
	$P_{силь}$ , кВт	$Q_{силь}$ , кВар	$P_{силь}$ , кВт	$P_{осв}$ , кВт	$Q_{осв}$ , кВар	$S_{осв}$ , кВА	$P_c$ , кВт	$Q_c$ , кВар	$S_c$ , кВА
Склад материалов	85	72	120	10,1	5,5	11,2	96,1	72,5	120,4
Склад готовой продукции	101	84	140	10,1	5,5	11,2	112,1	84,5	140,4
Мартеновский сталелитейный цех	1026,2	1046,7	1465,9	59,3	28,5	65,8	1085,5	1075,2	1527,9
Сталелитейный цех цветных металлов	750	660	999	27,8	13,3	30,8	777,8	673,3	1028,7
Цех приёма и обработки первичного материала	599	527,1	797,9	18,1	8,7	20,1	617,1	535,8	817,2
Насосная (0,4 кВ)	622,5	547,8	829,2	74,1	35,6	82,2	2086,6	1806,6	2760
Насосная (10 кВ)	1390	1223,2	1851,6						
Железнодорожный узел	435	382,8	579,5	20,4	9,8	22,6	455,4	392,6	555,2
Погрузочно–разгрузочный узел	412,5	363	549,5	21,5	10,3	23,8	434	373,3	572,5
Конвертерный цех	940	827,2	1252,1	20,7	9,9	23,0	960,7	837,1	1274,2
Доменный сталелитейный цех	4037,5	3553	5378,2	370,5	177,8	411,0	4408	3730,8	5774,9
Лаборатория контроля качества	990	742,5	1237,5	11,1	5,3	12,3	1001,1	747,8	1249,6
Компрессорная (0,4 кВ)	756	665,3	1007	89,8	43,1	99,6	2805,8	2433,2	3713,9
Компрессорная (10 кВ)	1960	1724,8	2610,8						
Участок ремонта и обслуживания	836,5	853,2	1194,9	37,3	17,9	41,4	873,8	871,1	1233,8
Котельная	1293	969,8	1616,3	42	20,2	46,6	1335	990	1662
Автопарк	224	197,1	298,4	3,3	1,6	3,7	227,3	198,7	301,9
Кислородный цех	239,8	211	319,4	10,7	5,1	11,9	250,5	216,1	330,8
Приёмо-сдаточная площадка	68	51	85	13,3	6,4	14,8	81,3	57,4	99,5
Административно-техническое здание	117,5	88,1	146,9	11,1	5,3	12,3	128,6	93,4	158,9
Медпункт, столовая, проходная	37,5	28,1	46,9	1,6	0,8	1,8	39,1	28,9	48,6
Торговый комплекс	47,5	22,8	52,7	4,3	2	4,7	51,8	24,8	57,4
Испытательный участок	250	187,5	312,5	6,8	3,2	7,5	256,8	190,7	319,9
Всего по заводу							18084,4	15433,8	23775

## **2.3 Выбор и проверка трансформаторов ГПП системы электроснабжения металлургического завода**

Известно, что суммарное количество силовых трансформаторов ГПП выбирается в зависимости от категории надежности электроснабжения потребителей, а их мощность напрямую зависит от суммарной нагрузки, которую они питают [15].

Также известно, что для обеспечения «электроснабжения потребителей I и II категории надежности должно быть предусмотрено два независимых источника» [12] питания, следовательно, исходя из этого, на питающей подстанции (ГПП) системы электроснабжения металлургического завода должно быть установлено два силовых трансформатора.

Известно, что, согласно [11], допускается перегрузка маслонаполненных трансформаторов на 30% в течение 120 минут, на 45% в течение 80 минут, на 65% в течение 45 минут [11].

Таким образом, с одной стороны, будет обеспечено резервирование системы электроснабжения металлургического завода, а с другой – обеспечены условия надёжности, исключив перегрузку и перегрев трансформаторов.

Мощность силовых трансформаторов ГПП должна быть выбрана с учетом максимальной расчётной нагрузки предприятия при рабочем режиме с учетом нагрузки при обеспечении аварийного резерва с учётом отключения цехов и участков, относящихся к III категории надёжности по условию категорийности потребителей [10].

Выбор и проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта в работе проводится по следующему алгоритму:

- выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимым коэффициентам загрузки с предварительной проверкой по допустимой расчётной нагрузке, а также с учётом входной «эквивалентной» реактивной мощности;

- проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по фактической нагрузке в нормальном режиме;
- «проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимой нагрузке в послеаварийном режиме работы» [17].

С учётом эквивалентной реактивной мощности, которую целесообразно передавать через силовые трансформаторы ГПП [20]:

$$Q_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_{\text{сум.}}, \quad (12)$$

где  $\alpha$  - коэффициент эквивалентности [8].

Входная реактивная мощность (экономический эквивалент) на ГПП:

$$Q_{\text{э1}(U=110\text{кВ})} = 0,25 \cdot 18380,9 = 4595,2 \text{ кVar.}$$

Остальная реактивная мощность на ГПП подлежит компенсации. Следовательно, при расчёте полной нагрузки ГПП-110/10 кВ для выбора силовых трансформаторов, необходимо учитывать значение входной эквивалентной реактивной мощности [20]:

$$S_{\text{м.зпт}} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\text{э1}}^2} \cdot K_{\text{рм}}, \quad (13)$$

где « $K_{\text{рм}}$ –коэффициент разновременности максимума» [15].

Значение полной нагрузки ГПП-110/10 кВ для выбора силовых трансформаторов:

$$S_{\text{м.зпт}} = \sqrt{18380,9^2 + 4595,2^2} \cdot 0,95 \approx 18000 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученных результатов, «номинальная мощность трансформатора ГПП-110/10 кВ» [6]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.зпт}}{N \cdot K_3}, \quad (14)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов на ГПП.

Значит:

$$S_{ном.т(U=110 \text{ кВ})} \geq \frac{18000}{2 \cdot 0,8} = 11250 \text{ кВА.}$$

Исходя из номинального ряда мощностей, на ГПП завода необходимо установить два силовых трансформатора марки ТДН-16000/110 [6].

«Условие проверки силовых трансформаторов ГПП объекта по фактической нагрузке в нормальном режиме» [15]:

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,65. \quad (15)$$

Проверка силовых трансформаторов ГПП объекта по фактической нагрузке в «нормальном режиме выполняется» [15]:

$$K_3 = \frac{18000}{2 \cdot 16000} = 0,56 \leq 0,65.$$

«Условие проверки силовых трансформаторов» [11] главной понизительной подстанции объекта по допустимой нагрузке в послеаварийном режиме работы согласно [11]:

$$1,35 \cdot S_{ном} \geq S_P. \quad (16)$$

Условие проверки силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимой нагрузке в послеаварийном режиме работы выполняется:

$$1,35 \cdot 16000 = 21600 \text{ кВА} \geq 18000 \text{ кВА}.$$

Следовательно, на ГПП-110/10 кВ металлургического завода, необходимо окончательно установить два силовых трансформатора марки ТДН-16000/110.

«Значение годовых потерь электроэнергии в выбранном силовом трансформаторе ГПП» [11]:

$$\Delta W_{mp} = n \cdot \Delta P'_{xx} \cdot T + n \cdot K_3^2 \cdot \Delta P'_{кз} \cdot \tau_m, \quad (17)$$

где « $T$  – максимальное расчётное время потерь, ч» [11];

« $n$  – количество трансформаторов, шт.» [11];

« $\tau_m$  – время максимальных потерь, ч» [11].

Для двух выбранных силовых трансформаторов марки ТДН-16000/110, суммарные потери электроэнергии составят:

$$\Delta W_{mp} = 2 \cdot 14 \cdot 8760 + 2 \cdot 0,6^2 \cdot 60 \cdot 4570 = 442704 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Расчитанные данные по потерям электроэнергии в силовых трансформаторах марки ТДН-16000/110, которые необходимо установить на ГПП-110/10 кВ металлургического завода, используются в работе далее при расчёте технико-экономических показателей спроектированной системы электроснабжения объекта.

## 2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

«Далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов» [19] цеховых трансформаторных подстанций системы электроснабжения металлургического завода, с учётом схемы электрических соединений объекта проектирования, а также подключения нагрузки в питающей сети 10 кВ и распределительной сети 0,38/0,22 кВ.

Известно, что на выбор мощностей и количества трансформаторов на цеховых подстанциях влияют следующие факторы:

- мощность нагрузки;
- категория надёжности потребителей;
- расположение потребителей;
- плотность нагрузки.

С учётом данных факторов, проводится распределение цехов по понизительным трансформаторным цеховым подстанциям.

Важно отметить то, что при распределении нагрузки, цеха 1 и 2 категорий надёжности, должны иметь два независимых источника питания.

Следовательно, с целью улучшения эффективности использования площади завода, предлагается все понизительные ТП-10/0,4 кВ выполнить двухтрансформаторными.

Известно, что номинальная полная «мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ, определяется так» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N \beta_t}, \quad (18)$$

где « $S_{\text{ном.т.р}}$  – расчетная мощность силового трансформатора, кВА» [12];

« $\sum P_p$  – активная нагрузка объектов, питающихся от ТП, кВт» [12];

« $N$  – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.» [12].

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 по условию (18)» [19]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1788,7}{2 \cdot 0,7} = 1277,6 \text{ кВА.}$$

«Для установки на цеховой ТП-1 приняты два силовых трансформатора марки ТМ-1250/10» [12].

«На других цеховых ТП выбор силовых трансформаторов аналогичен (таблица 4)» [19].

Таблица 4 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

№ ТП	n×S <sub>ном</sub> , кВА	Номер цеха, по плану	S <sub>рΣ</sub> , кВА	Категория надёжности цеха
ТП № 1	2×1250	1	1788,7	III
		2		III
		3		I
ТП № 2	2×630	4	1028,7	I
ТП № 3	2×1250	5	1944,9	I
		7		II
		8		II
ТП № 4	2×1000	14	1662	I
ТП № 5	2×1000	9	1274,2	I
ТП № 6	2×1600	6	2760	I
ТП № 7	2×2500	12	4446,1	I
		15		III
		16		III
		17		III
ТП № 8	2×3200	10	5774,9	I
ТП № 9	2×1600	11	2868,2	II
		13		II
		18		III
		19		III
		20		III
		21		II

Условия резервирования и допустимой перегрузки на цеховых ТП-10/0,4 кВ выполняются, следовательно, они могут быть приняты для установки в системе электроснабжения завода.

## 2.5 Выбор устройств компенсации реактивной мощности во внутренней системе электроснабжения металлургического завода

Далее в работе необходимо провести устройств выбор компенсации реактивной мощности во внутренней системе электроснабжения металлургического завода.

Известно, что ко внутренней сети системы электроснабжения металлургического завода, относится питающие и распределительные сети напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ.

Исходя из того, что основными потребителями на объекте являются двигатели, имеющие характер активно-индуктивной нагрузки, следовательно, величину реактивной составляющей в сети необходимо компенсировать путём установки дополнительных компенсаторов (конденсаторных установок), обладающих емкостным характером нагрузки.

Таким образом, во внутренней сети системы электроснабжения металлургического завода, величина расчётной реактивной составляющей будет компенсирована путём установки компенсирующих устройств (КУ) напряжением 0,4 кВ на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ.

При расчёте КУ используется методика [18].

«Максимальная реактивная мощность, которую целесообразно передавать через трансформатор 10/0,4 кВ» [18]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.Т}})^2 - P_{\text{р.ТП}}^2}, \text{ квар}, \quad (19)$$

где  $N$  - «число трансформаторов ТП, шт .» [18];

$S_{\text{ном.Т}}$  - «полная номинальная мощность трансформатора ТП, кВА» [18];

$P_{\text{р.ТП}}$  - «расчетная активная мощность нагрузки ТП, кВт» [18].

Мощность конденсаторных установок с конденсаторами номинальным напряжением 0,4 кВ определяется как [20]:

$$Q_{н.к} = Q_{р.т} - Q_{т}, \text{кВар}, \quad (20)$$

где  $Q_{р.т}$  - «расчетная реактивная мощность, кВар» [18].

Так, для ТП №1 по условиям (19) и (20):

$$Q_{т} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1250)^2 - 1317,9^2} = 1504,4 \text{кВар}.$$

$$Q_{н.к} = 1232,2 - 1504,4 = -172,2 \text{кВар}.$$

«Так как на ТП №1 значение  $Q_{н.к} \leq 0$ , то устанавливать конденсаторы номинальным напряжением 0,4 кВ не нужно» [18].

«Аналогичные расчеты для выбора номинальной мощности конденсаторов с номинальным напряжением 0,4 кВ для остальных цеховых подстанций приводятся в таблице 5» [18].

Таблица 5– Выбор КУ-0,4 кВ для установки на шинах 0,4 цеховых ТП-10/0,4 кВ с целью компенсации реактивной мощности во внутренней системе электроснабжения металлургического завода

ТП	$P_{р.ц}$ , кВт	$S_{ном.тп}$ , кВА	$Q_{т}$ , кВар	$Q_{р.т}$ , кВар	$Q_{н.к}$ , кВар	Типономинал КУ	Количество × мощность КУ, шт × кВар
ТП1	1317,9	2×1250	1504,4	1232,2	-172,2	-	-
ТП2	794,4	2×630	620,5	673,3	52,8	УКРП-0,4-25-20УЗ	2 × 25
ТП3	1533,7	2×1250	1283,7	1301,7	18	-	-
ТП4	1359,7	2×1000	986,5	990,0	3,5	-	-
ТП5	977,6	2×1000	1266,7	837,1	-429,6	-	-
ТП6	2123,6	2×1600	1429,7	1806,6	376,9	УКРП-0,4-150-20УЗ	2 × 150
ТП7	3414,2	2×2500	2084	2905,4	821,4	УКРП-0,4-400-20УЗ	2 × 400
ТП8	4469,5	2×3200	2497,6	3730,8	1233,2	УКРП-0,4-600-20УЗ	2 × 600
ТП9	2390,3	2×1600	916,6	1956,7	1040,1	УКРП-0,4-500-20УЗ	2 × 500
Всего					3545,9	-	2450

Аналогично, для компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-110/10 кВ, принимаются «две компенсирующие установки типа УКЛ-10,5-500 УЗ» [14].

Таким образом, избыточная реактивная составляющая будет полностью компенсирована как на ГПП-110/10 кВ, так и во внутренней системе электроснабжения металлургического завода на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Таким образом, баланс мощностей в проектируемой системе электроснабжения металлургического завода, будет обеспечен.

Все выбранные в работе КУ для установки на объекте, показаны в графической части работы (лист 2).

Электрическая схема конденсаторной установки для компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения завода представлена на графическом листе 6.

## **2.6 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения металлургического завода**

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку проводников системы электроснабжения металлургического завода.

В работе в системе электроснабжения металлургического завода, выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ (питающие воздушные линии от энергосистемы к силовым трансформаторам ГПП), 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП к цеховым ТП-10/0,4 кВ), а также 0,4 кВ (отходящие кабельные линии от цеховым ТП-10/0,4 кВ к цеховым ВРУ-0,4 кВ).

«Сечение проводников проектируемой линии можно определить по формуле» [19]:

$$F_{\text{Э}} = \frac{I_{\text{расч.}}}{j_{\text{эк.}}}, \quad (21)$$

где « $I_{\text{расч.}}$  – расчетное значение тока, А» [17];

« $j_{\text{эк.}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [19].

«Расчетное значение рабочего тока нормального режима» [19]:

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (22)$$

где  $S_p$  – «расчётная полная нагрузка линии, кВА» [11].

«Выбранное сечение линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева рабочим током нормального режима работы» [1]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_n, \quad (23)$$

где  $I_{\text{дон}}$  – «значение длительно – допустимого тока выбранного проводника стандартного сечения, А» [4].

«Также выбранное сечение линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы» [4].

Проверка по условию длительного нагрева в послеаварийном режиме сводится к проверке выполнения условия [12]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_a. \quad (24)$$

Следовательно, для корректного выбора сечения проводников линий электропередач системы электроснабжения металлургического завода, необходимо предварительно провести расчёт максимальных токов послеаварийного режима присоединений 110 кВ и 10 кВ (соответственно,

питающей и распределительной сетей системы внешнего и внутреннего электроснабжения объекта).

Для данного значения  $K_{nn}$  и  $t_M = 1$  ч коэффициент допустимой перегрузки в послеаварийном режиме  $K_{ав} = 1,4$  [6].

Расчёт максимальных рабочих токов послеаварийного режима проводится с учётом резервирования в схеме электроснабжения с влиянием категоричности объектов в системе электроснабжения металлургического завода, по упрощённой формуле расчёта [20]:

$$I_a = K_{ав} \cdot I_n = 1,4 \cdot I_n. \quad (25)$$

Расчитанные значения максимальных токов послеаварийного режима для сети 110 кВ и 10 кВ используются далее для выбора сечения соответствующих проводников линий.

Также эти расчётные данные используются при выборе и проверке электрических аппаратов в работе далее.

Необходима также проверка сечений проводников линий по условию допустимой потере напряжения [4]:

$$\Delta U = \frac{PR_l + QX_l}{U_n^2} \cdot 100, \%. \quad (26)$$

Допустимые потери в системе электроснабжения любого типа должны быть не более 5% [15].

Далее в работе проводится детальный выбор и проверка сечения проводника воздушной линии 110 кВ, которая осуществляет питание трансформаторов ГПП системы электроснабжения металлургического завода от энергосистемы.

Расчётный ток нормального режима ВЛ-110 кВ системы электроснабжения металлургического завода:

$$I_p = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 84 \text{ А.}$$

Максимальный рабочий ток ВЛ-110 кВ системы электроснабжения металлургического завода:

$$I_{p.\max} = 1,4 \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,6 \text{ А.}$$

Экономически выгодное «сечение провода питающей ВЛ-110 кВ проектируемой системы электроснабжения металлургического завода» [19]:

$$F_s = \frac{84}{1,1} = 76,4 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, в работе предварительно принимается сечение провода  $F_{cm} = 70 \text{ мм}^2$  марки АС-70/11 с  $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [4].

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется» [4]:

$$265 \text{ А} \geq 84 \text{ А.}$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [4]:

$$265 \text{ А} \geq 117,6 \text{ А.}$$

Известно, что по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения, чем стандартное минимально-

допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также назначения линии.

Математически это условие выражается так [12]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, мм^2. \quad (27)$$

Значит, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом климатических данных, а также таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 [10], минимальные сечения проводов АС для линий 110 кВ находятся на уровне не менее 70 мм<sup>2</sup> [9].

Проверка предварительного выбранного сечения провода ВЛ-110 кВ проектируемой системы электроснабжения металлургического завода по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется:

$$70 мм^2 = 70 мм^2.$$

По условию возникновения короны проверяются воздушные линии напряжением от 110 кВ и выше [17].

Условия проверок выполняются, следовательно, данный провод марки АС-70/11 полностью удовлетворяет всем условиям выбора и проверки, и подходит в качестве провода для питающей линии 110 кВ к трансформаторам главной понизительной подстанции проектируемой системы электроснабжения металлургического завода.

«По аналогичной методике выбора и проверки, в работе проведён выбор кабельных линий напряжением 10 кВ, питающих ТП-10/0,4 кВ с приведением результатов выбора в форме таблицы б» [9].

В работе питающая сеть напряжением 10 кВ выполняется силовыми кабелями при прокладке в траншеях.

Расстояние между кабелями принимается равным 200 мм. При этом резервирование линий 10 кВ, отходящих к потребителям, также должны быть учтены при расчёте.

Данное резервирование осуществляется через секционный выключатель в РУ-10 кВ подстанции.

Также скрытые кабельные линии, в отличии от воздушных, не подлежат проверке по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам.

Допустимое отклонение напряжения на конце кабелей распределительной сети 10 кВ – не более 5%.

Для ТСН и вводов силовых трансформаторов ГПП на стороне 10 кВ провода воздушных линий не используются (для этой цели на подстанции применяется жёсткий шинопровод).

Поэтому для данных присоединений выбор проводников линий 10 кВ в работе не проводится.

Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения металлургического завода представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения металлургического завода

№ ТП (линии)	<i>n</i> , шт.	$I_p, A$	$I_{p.max.}, A$	$F_{\Sigma}, \text{мм}^2$	Марка силового кабеля	$I_{дон}, A$	$\Delta U, \%$
ТП-1	2	52,1	104,2	37,2	АСБ-10 (3×50)	140	2,4
ТП-2	2	30,1	60,2	21,5	АСБ-10 (3×25)	90	1,8
ТП-3	2	58,1	116,2	41,5	АСБ-10 (3×50)	140	1,1
ТП-4	2	48,6	97,2	34,7	АСБ-10 (3×35)	115	1,9
ТП-5	2	37,2	74,4	26,6	АСБ-10 (3×35)	115	2,2
ТП-6	2	80,5	161,0	57,5	АСБ-10 (3×70)	165	1,8
ТП-7	2	129,4	258,8	92,4	АСБ-10 (3×95)	205	3,4
ТП-8	2	168,0	336,0	120,0	АСБ-10 (3×120)	240	1,0
ТП-9	2	89,2	178,4	63,7	АСБ-10 (3×70)	165	1,8
Насосная (двигатели 10 кВ)	2	53,5	107,0	38,2	АСБ-10 (3×50)	140	2,1
Компрессорная (двигатели 10 кВ)	2	75,4	150,8	53,9	АСБ-10 (3×70)	165	1,9

Кроме того, в работе также аналогично выбраны проводники питающей сети напряжением 0,4 кВ. Для данной цели приняты четырёхжильные силовые кабели марки АВВГ.

Результаты их выбора показаны на графическом листе 2.

Все выбранные в работе проводники подходят для использования на объекте проектирования.

## **2.7 Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения металлургического завода**

Далее в работе осуществляется расчёт токов короткого замыкания (КЗ) в максимальном режиме работы системы (режим трёхфазного КЗ).

Так как на ГПП-110/10кВ системы электроснабжения объекта, в результате проведения её проектирования, установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 10 кВ за ними будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на главной понизительной подстанции остаётся один силовой трансформатор, на который также приходится нагрузка второго трансформатора, отключённый в максимальном режиме устройствами релейной защиты.

Для расчётов значений токов КЗ, согласно исходной схеме электрических соединений спроектированной системы электроснабжения, составляется схема замещения сети, на которой каждый элемент представляется в виде сопротивления (активного и индуктивного).

Для получения корректных результатов, на первом этапе следует рассчитать параметры исходной схемы замещения (рисунок 7).

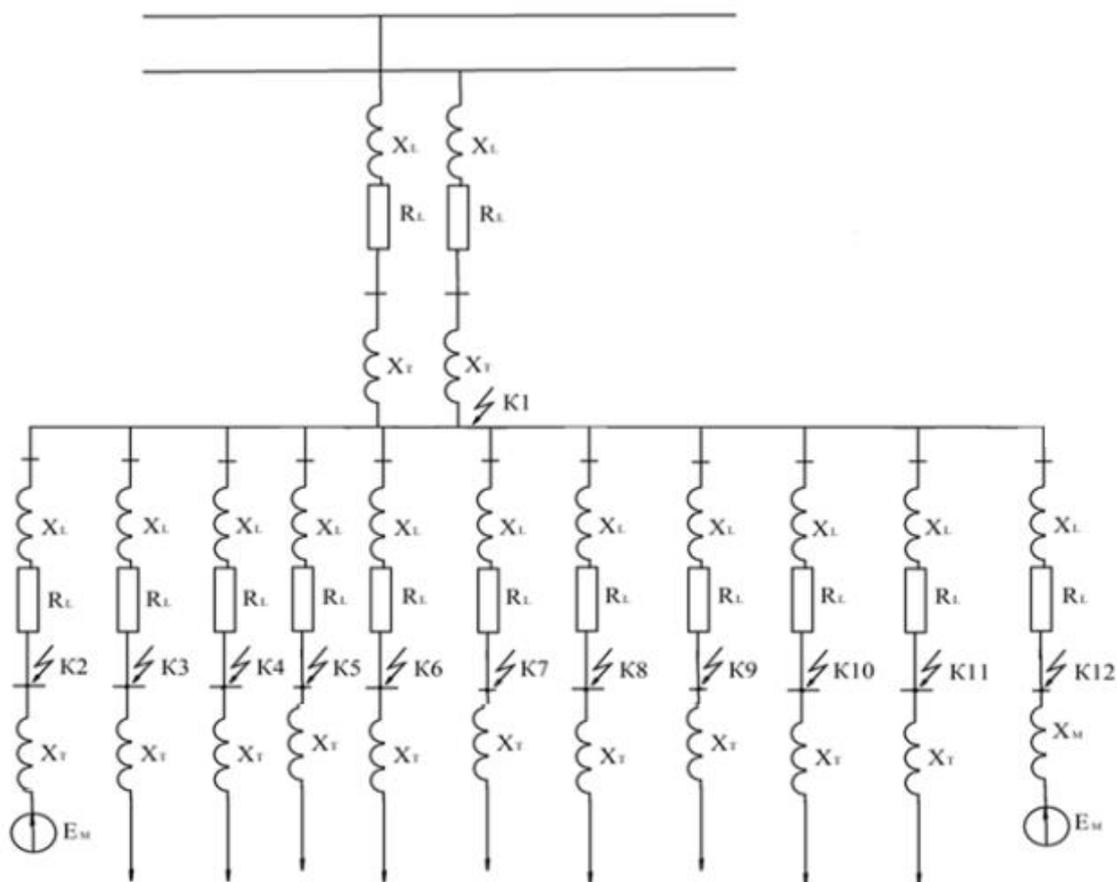


Рисунок 7 – Упрощённая схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения проектируемого металлургического завода

Известно, что при наличии в системе электроснабжения высоковольтных электродвигателей большой мощности, в результате электромагнитных и электродинамических процессов, они существенно влияют на величину токов короткого замыкания за счёт токов подпитки и сверхпереходных сопротивлений.

Таким образом, в схеме должны быть учтены высоковольтные двигатели, установленных в насосной (точка К2) и в компрессорной (точка К12) объекта проектирования.

После составления схемы замещения, далее в работе принимаются базисные условия при расчёте в относительных единицах при последующем приведении к принятым базисным условиям в именованных единицах.

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности, поступающей с энергосистемы на ГПП-

110/10кВ системы электроснабжения металлургического завода, с учётом перетоков мощностей:

$$S_{\sigma} = 1000 \text{ МВА.}$$

«Величина базисного напряжения в системе электроснабжения металлургического завода принимается больше значения номинального напряжения сети на 5%» [7].

Базисное напряжение схемы определяется так [6]:

$$U_{\sigma.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (28)$$

По условию (28):

$$U_{\sigma.1} = 1,05 \cdot 110 = 115 \text{ кВ.}$$

$$U_{\sigma.2} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ.}$$

Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы [8]:

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (29)$$

Базисный ток на стороне ВН (110 кВ) схемы (численное значение):

$$I_{B.ВН} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА.}$$

Базисный ток на стороне НН (10 кВ) схемы (численное значение):

$$I_{B.НН} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 91,6 \text{ кА.}$$

Далее в работе поочерёдно определяется значение сопротивлений схемы замещения.

«Индуктивное сопротивление системы» [17]:

$$X_1 = X_{cuc} = \frac{U_6^2}{S_{кз}}, \quad (30)$$

где  $S_{кз}$  – «полная мощность КЗ на шинах энергосистемы, кА» [12].

$$X_1 = X_{cuc} = \frac{115^2}{40000} = 0,33 \text{ Ом.}$$

«Значение индуктивного сопротивления воздушной линии» [16]:

$$X_{вл} = \frac{S_6}{U_6^2} \cdot X_{удвл} \cdot L, \text{ Ом,} \quad (31)$$

где « $X_{уд.вл}$  – индуктивное сопротивление ВЛ-110 кВ (табличное значение, исходя из марки провода ВЛ-110 кВ)» [16].

$$X_2 = \frac{1000}{115^2} \cdot 0,444 \cdot 7 = 0,24 \text{ Ом.}$$

«Активное сопротивление воздушной линии» [16]:

$$r_{вл} = \frac{S_6}{U_6^2} \cdot r_{удвл} \cdot L, \text{ Ом,} \quad (32)$$

где « $r_{уд.вл}$  – активное сопротивление ВЛ - 110 кВ» [16].

$$r_2 = \frac{1000}{115^2} \cdot 0,422 \cdot 7 = 0,22 \text{ Ом.}$$

«Полное сопротивление воздушной линии» [16]:

$$Z_2 = z_{вл} = \sqrt{r_{вл}^2 + x_{вл}^2}, \quad (33)$$

$$z_2 = z_{вл} = \sqrt{0,24^2 + 0,22^2} = 0,326 \text{ Ом.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора ГПП-110/10 кВ» [16]:

$$X_{тр} = \frac{1}{n} \cdot \frac{u_{ксп}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{тном}}, \quad (34)$$

$$X_{тр} = \frac{1}{2} \cdot \frac{6,3}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 3,2 \text{ Ом.}$$

«Активное сопротивление силового трансформатора ГПП-110/10 кВ» [16]:

$$r_{тр} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{тном}} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{тном}} \cdot 10^{-3}, \quad (35)$$

$$r_{тр} = \frac{1}{2} \cdot \frac{60}{10} \cdot \frac{1000}{16} \cdot 10^{-3} \approx 0,3 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления кабельных линий» [16]:

$$X_{кл} = \frac{1}{n} X_{удкл} L \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}}^2}, \text{ Ом,} \quad (36)$$

$$r_{кл} = \frac{1}{n} r_{удкл} L \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}}^2}, \text{ Ом,} \quad (37)$$

где « $n$  – количество кабельных линий, шт.» [16].

«Для кабельной линии 10 кВ от ГПП до ТП-1» [16]:

$$X_{15} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000}{10,5^2} \cdot 0,059 \cdot 0,8 = 2,9 \text{ Ом.}$$

$$R_{15} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000}{10,5^2} \cdot 0,083 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ Ом.}$$

«Расчеты сопротивлений остальных кабельных линий аналогичны» [16].

После определения всех параметров схемы замещения, далее проводится расчёт искомых токов КЗ.

«Ток трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К1 рассчитывается так» [16]:

$$I_{\kappa 1} = \frac{I_{61}}{Z_{1\Sigma}}, \text{ кА,} \quad (38)$$

где « $Z_{1\Sigma}$  - значение суммарного сопротивления до точки К1» [16].

«Суммарное сопротивление» [16]:

$$z_{1\Sigma} = \sqrt{0,49^2 + 0,28^2} = 0,57 \text{ Ом.}$$

$$I_{\kappa 1} = \frac{5,02}{0,57} = 8,8 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётной точке К1» [16]:

$$i_y = K_y \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}, \quad (39)$$

где « $K_y$  – ударный коэффициент» [11].

«Ударный ток в расчётной точке К1» [16]:

$$i_y = 1,18 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,8 = 14,7 \text{ кА.}$$

Остальные значения ударного тока для всех остальных точек КЗ схемы получены аналогично и приведены в таблице 7.

«Максимальное действующее значение мгновенного ударного тока КЗ в расчётной точке К1» [16]:

$$I_y = I_{к1} \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2}. \quad (40)$$

$$I_y = 8,8 \sqrt{1 + 2 \cdot (1,18 - 1)^2} = 9,1 \text{ кА.}$$

Остальные значения максимального мгновенного ударного тока для всех остальных точек КЗ схемы получены аналогично и приведены в таблице 7. Аналогично проводится расчёт результирующего сопротивления и трёхфазных токов КЗ в остальных точках схемы с учётом расположения отдельных элементов в схеме при определённом их соединении в цепи КЗ (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты расчета токов короткого замыкания

Точка КЗ	$x_{1\Sigma}$ , Ом	$r_{1\Sigma}$ , Ом	$z_{1\Sigma}$ , Ом	$K_y$	$I_k$ , кА	$i_y$ , кА	$I_y$ , кА
К1	0,49	0,28	0,57	1,12	8,8	14,69	9,08
К2	2,41	1,83	3,12	1,38	2,65	3,15	3,63
К3	2,14	2,61	4,68	1,51	2,83	3,26	3,28
К4	2,32	1,54	2,83	1,18	3,62	4,34	4,38
К5	3,12	2,73	3,22	1,17	2,73	3,48	3,89
К6	1,42	1,63	2,08	1,23	2,82	3,42	3,74
К7	2,35	2,27	3,16	1,28	2,97	3,16	3,75
К8	1,82	1,46	2,37	1,36	2,31	3,15	3,64
К9	2,12	2,03	2,48	1,38	2,16	3,05	3,42
К10	2,04	1,68	2,71	1,39	2,21	2,96	3,37
К11	3,38	2,24	3,58	1,21	2,64	2,47	3,24
К12	3,16	2,96	4,16	1,19	2,28	2,38	3,15

## 2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения металлургического завода

Далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения металлургического завода.

Выбору подлежат электрические коммутационные и защитные аппараты, установленные на ГПП объекта проектирования (в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ). Они применяются для защиты и управления потребителями всего завода.

В работе для проектируемой системы электроснабжения металлургического завода, следует выбрать новые, современные электрические коммутационные и защитные аппараты, которые значительно превосходят устаревшие марки и модификации [5].

Известно, что современные технические решения по выбору оборудования системы электроснабжения металлургического завода, включают применение нового современного оборудования, которое характеризуется техническими и экономическими критериями [18]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования;
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем;
- стабильное отключение больших токов;
- применение современных способов гашения электрической дуги;
- повышенная электробезопасность;
- экологическая безопасность;
- пожаробезопасность;
- взрывобезопасность;
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт;
- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений;

- возможность дальнейшей модернизации;
- возможность расширения и ввода новых устройств;
- полноценная работа в техническом комплексе системы электроснабжения.

В результате проведения анализа разработок и типов оборудования установлено, что для применения на главной понизительной подстанции 110/10 кВ в системе электроснабжения металлургического завода, рекомендовано использовать следующие современные типы оборудования:

- выключатели высокого напряжения – вакуумный, электромагнитный, элегазовый;
- разъединители – современные модификации разъединителей горизонтально-поворотного и вертикально-поворотного типа;
- аппаратов защиты от перенапряжений – современные разработки ограничителей перенапряжения.

Выбор конкретных марок данных аппаратов для их непосредственной установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ понизительной подстанции 110/10 кВ ГПП проводится в работе далее при выборе и проверке электрических аппаратов.

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по условиям» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (41)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (42)$$

«Для отключающих аппаратов проверка на ток отключения» [12]:

$$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (43)$$

«Проверка на отключение аperiodической составляющей тока» [12]:

$$i_{a.\tau} \leq i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (44)$$

где « $\beta_{ном}$  – аperiodическая составляющая в отключаемом токе» [12];

« $i_{a.ном}$  – номинальное допускаемое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка на электродинамическую стойкость [12]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}, \quad (45)$$

$$i_y \leq i_{дин}. \quad (46)$$

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (47)$$

где « $I_T$  – предельный ток термической стойкости по каталогу» [12].

Для выбора оборудования, необходимо провести расчёт соответствующих параметров на сторонах 110 кВ и 10 кВ.

На стороне 110 кВ при выборе оборудования с последующей проверкой на термическую стойкость к токам КЗ, необходимо определить значение теплового коэффициента:

$$B_K = (I_{н0})^2 (t_{откл} + T_a), \text{ кА}^2 \text{с}^{1/2}, \quad (48)$$

где « $t_{откл}$  – время отключения электрического аппарата при возникновении режима КЗ, с» [13];

« $t_{рзтах}$  – максимальное время действия релейной защиты, с» [13].

$$B_K = (8,81)^2 \cdot (1 + 0,05 + 0,056) = 85,64, \text{ кА}^2 \text{с}^{1/2}.$$

Максимальный рабочий ток послеаварийного режима в сети 110 кВ, определяется рабочим током на стороне силового трансформатора ГПП-110/10 кВ, с учётом необходимого резервирования по формуле:

$$I_{\text{прод.расч}} = K_2 \cdot \frac{S_{\text{номТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номТНН}}}, \text{кА},$$

где « $K_2$  - коэффициент перегрузки трансформатора» [8].

$$I_{\text{прод.расч}} = 1,4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,6 \text{кА}.$$

«Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 110 кВ системы электроснабжения металлургического завода, представлены в таблице 8» [16].

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки коммутационных высоковольтных аппаратов 110 кВ

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выбранные аппараты (марки и номинал)			
		Разъединитель РГ-110/1000	Выключатель ВРС-110-31,5	ТТ ТОГФ-110	ТН НКФ-110
$U_{\text{сном}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сном}} = 110 \text{кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{кВ}$
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{расч}} = 117,6 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_{\text{уд}} = 14,7 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$
$B_K \leq I_{\text{нр}}^2 \cdot t_m$	$B_K = 85,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}^{1/2}$	$I_{\text{нр}}^2 \cdot t_m = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{нр}}^2 \cdot t_m = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{нр}}^2 \cdot t_m = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{нр}}^2 \cdot t_m = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Соответственно, расчёт параметров электрической цепи напряжением 10 кВ, будет проводится так:

$$I_{\text{ат}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{н0}} \cdot \left( e^{\frac{-\tau}{T_a}} \right), \text{кА}. \quad (49)$$

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot 2,7 \cdot \left( e^{\frac{-0,05}{0,025}} \right) = 0,51 \text{ кА.}$$

$$\sqrt{2} \cdot I_{nt} + i_{at} = \sqrt{2} \cdot 2,48 + 0,47 = 3,99 \approx 4 \text{ кА.}$$

$$B_{\kappa} = 2,7^2 (1 + 0,04 + 0,025) = 6,65 \text{ кА}^2 \text{ с}^{1/2}.$$

«Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 10 кВ системы электроснабжения металлургического завода, представлены в таблице 9» [16].

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки коммутационных высоковольтных аппаратов 10 кВ

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выключатель ВВЭ-М-10-20	Выключатель нагрузки ВНА-10/16000	ТТ ТПЛ-Э-12
$U_{\text{сном}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{расч}} = 924,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$
$I_{\text{кп}} \leq I_{\text{пр.с}}$	$I_{\text{кп}} = 2,7 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$
$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 4,34 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 30 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 50 \text{ кА}$
$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откл.ном}}$	$I_{\text{пт}} = 2,48 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$\sqrt{2} \cdot I_{nt} + i_{at} \leq \sqrt{2} \cdot I_{н.откл} \cdot (1 + \beta)$	$\sqrt{2} \cdot I_{nt} + i_{at} = 4 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot I_{н.откл} \cdot (1 + \beta) = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot (1 + 0,32) = 37,35 \text{ кА}$	-	-
$B_{\kappa} \leq I_{np}^2 \cdot t_m$	$B_{\kappa} = 6,65 \text{ кА}^2 \text{ с}^{1/2}$	$I_{np}^2 \cdot t_m = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	-	-
Вторичная нагрузка	$P_2 = 14,8 \text{ кВА}$	-	-	$P_{\text{ном}} = 16 \text{ кВА}$

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы [20].

Следовательно, установлено, что их можно использовать для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ системы электроснабжения металлургического завода. «Далее в работе проводится выбор трансформаторов собственных нужд для ГПП металлургического завода по следующим формулам» [18]:

$$P_{расч.} = P_y \cdot K_c. \quad (50)$$

$$Q_{расч.} = P_{расч.} \cdot tg\varphi. \quad (51)$$

$$S_{с.н.рас.} = \sqrt{\sum P_{рас}^2 + \sum Q_{рас}^2}. \quad (52)$$

Мощность собственных нужд ГПП [20]:

$$S_{с.н.} = \sqrt{34,5^2 + 0^2} = 34,5 \text{ кВА}$$

Расчетная мощность ТСН [20]:

$$S_{ТСН} = \frac{S_p}{k_3 \cdot n}, \text{ кВА}. \quad (53)$$

$$S_{ТСН} = \frac{34,5}{0,7 \cdot 2} = 24,64 \text{ кВА}.$$

К установке на ГПП системы электроснабжения металлургического завода принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10, работающих отдельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП. Все выбранные аппараты удовлетворяют требуемым условиям проверки. В работе они показаны на графическом листе 2 (указание марки и типноминала подписаны слева от каждого аппарата).

## **2.9 Монтажные работы по вводу в работу системы электроснабжения**

Далее в работе проводится описание организации монтажных работ в системе электроснабжения металлургического завода в связи с введением в эксплуатацию объекта проектирования и мероприятиями, разработанными и описанными в настоящей работе ранее.

Организация строительно-монтажных работ в условиях ввода новых объектов в эксплуатацию должно быть увязано с производственной деятельностью [8].

Заказчик и подрядчик должны определить порядок согласованных действий и назначить ответственного за оперативное руководство работами.

Монтаж существующего оборудования осуществляется на первом этапе с учётом требований безопасности по утверждённым технологическим картам.

Доставка стройматериалов и нового оборудования осуществляется на объект до дальнейшего распоряжения Заказчика.

Отверстия под железобетонные стойки при монтаже воздушной линии 110 кВ в системе электроснабжения металлургического завода, а также выемку грунта, необходимо производить бурильно-крановой машиной БКМ-317.

Монтаж всех конструкций на ГПП системы электроснабжения металлургического завода производится автокраном КС-35716-5 [12].

Производство земляных работ под маслоуловитель нового силового трансформатора, устанавливаемого на ГПП системы электроснабжения металлургического завода вследствие проведения реконструкции, осуществляется экскаватором ЭО-2621 с вывозом грунта за пределы строительной площадки в отвал.

Монтаж сборных железобетонных блоков опорных конструкций ОРУ-110 кВ на ГПП системы электроснабжения металлургического завода необходимо производить автокраном КС35715-10.

Под железобетонные стойки опорных конструкций оборудования ОРУ-110 кВ ГПП системы электроснабжения металлургического завода, необходимо пробурить отверстия диаметром 450 мм бурильно-крановой машиной марки БКМ-317.

Установку силовых трансформаторов на ГПП системы электроснабжения металлургического завода необходимо производить автокраном КС 35715-10 на фундаментные плиты ФП 1.

Под фундаментные плиты нового силового трансформатора заливается монолитное бетонное основание толщиной не менее 250 мм [8].

Место, на которое осуществляется монтаж силового трансформатора, укрепляют бетоном или армируют с последующей его перезаливкой (при необходимости).

Бетон доставляется на стройплощадку после того, как место заливки бетоном (площадка) подготовлено к бетонированию. Для подъезда к монтажной площадке подстанции, включая ОРУ-110 кВ, место для установки трансформаторов и РУ-10 кВ, необходимо предусмотреть двухслойное асфальтобетонное покрытие щебеночной подготовки, шириной не менее 4,5 м.

После подготовительных строительных работ и оборудования, на ГПП системы электроснабжения металлургического завода проводится монтаж нового оборудования в следующей последовательности [8]:

- монтаж силового оборудования ОРУ-110 кВ;
- монтаж силового оборудования РУ-10 кВ;
- монтаж соединительных конструкций к оборудованию (проводов, кабелей, шинпроводов);
- монтаж вторичных цепей: релейной защиты, автоматики, сигнализации, средств контроля и измерений;

– монтаж освещения подстанции.

После выполнения монтажа нового оборудования производится его пробное включение в работу и наладка с последующей сдачей в эксплуатацию.

Доставка рабочих к месту строительства организовывается подрядной организацией. Для организации работ рабочие, которые выполняют монтажные работы, делятся на бригады (строительно-монтажные и пуско-наладочные).

Работы по монтажу оборудования в системе электроснабжения металлургического завода, следует организовать вахтовым методом, в зависимости от вида выполняемых работ.

Работы подготовительного периода выполняются в сроки, обеспечивающие своевременное начало и бесперебойное ведение основных строительно-монтажных работ.

Все рабочие строительно-монтажных бригад должны быть обеспечены специальной одеждой и обувью, а также другими средствами индивидуальной защиты.

Для размещения конторы строительного участка, складских помещений, а также бытовых помещений для нужд строителей и монтажников, предусматривается использование инвентарных передвижных вагончиков.

В целях удобства и безопасности, руководители строительства, прорабы, а также отдельные бригады, должны быть обеспечены сотовой связью.

Производство строительно-монтажных работ в условиях ввода в эксплуатацию системы электроснабжения металлургического завода, должно быть увязано с производственной деятельностью.

Заказчик и подрядчик должны определить порядок согласованных действий в системе электроснабжения металлургического завода и назначить

ответственного за оперативное руководство работами, которому поручается также и организация мероприятий по охране труда на объекте.

Все указанные мероприятия обязательны к применению и внедрению во время выполнения монтажных работ в системе электроснабжения металлургического завода.

Во время эксплуатации электроустановок к ним предъявляются следующие общие требования, описание которых приведено далее согласно [14]. «Перед приемкой в эксплуатацию оборудования» [18] электроустановок системы электроснабжения металлургического завода должны быть проведены [16]:

- индивидуальные испытания оборудования и функциональные испытания отдельных систем, завершающиеся пробным пуском основного и вспомогательного оборудования;
- комплексное опробование оборудования.

В обычных условиях работы, оперативный персонал должен дежурить на ГПП системы электроснабжения металлургического завода.

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по проектированию электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые практические мероприятия по разработке схемы электрических соединений РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП, а также распределительной сети ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения металлургического завода.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач и получены следующие основные результаты выбора и расчёта:

- исходя из расчётных данных, принята классическая схема питания металлургического завода от главной понизительной подстанции, с высшим напряжением 110 кВ и низшим напряжением 10 кВ, с применением двухступенчатой схемы трансформации

- электроэнергии (трансформаторы ГПП – трансформаторы цеховых ТП – потребители);
- выбрана радиальная схема с резервированием для питающей сети внешнего электроснабжения с питающей ГПП, а также девятью цеховыми двухтрансформаторными ТП-10/0,4 кВ;
  - обеспечено питание высоковольтных двигателей насосной и компрессорной отдельными линиями по радиальной схеме электроснабжения, от ГПП-110/10 кВ завода;
  - проведён расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей ГПП системы электроснабжения объекта исследования в целом, с учётом исходных данных и схемы электрических соединений;
  - осуществлён выбор силовых трансформаторов ГПП-110/10кВ (два трансформатора марки ТДН-16000/110) и цеховых ТП-10/0,4 кВ (по два трансформатора ТМ-10/0,4 кВ различных типонаминалов) системы электроснабжения металлургического завода;
  - выбраны компенсирующие устройства для компенсации реактивной мощности во внешней и во внутренней сети системы электроснабжения металлургического завода, установлено, что благодаря применению последних разработок, величина расчётной реактивной составляющей будет компенсирована путём установки компенсирующих устройств напряжением 0,4 кВ на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ во внутренней системе электроснабжения и на шинах 10 кВ РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения завода;
  - проведён выбор и проверка проводников системы электроснабжения металлургического завода. Выбраны для питающей линии провод марки АС-70/11, а для отходящих линий – силовые кабели марки АСБ-10 различных сечений;

- определены токи короткого замыкания в сетях напряжением 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения металлургического завода;
- проведён выбор электрических аппаратов в РУ-110 кВ ГПП системы электроснабжения металлургического завода. Выбраны следующие современные аппараты: разъединитель РГ-110/1000 (производитель – ТМ «Энергия»), выключатель ВРС-110-31,5 (ООО «НТЭАЗ Электрик»), трансформаторы тока ТОГФ-110 и напряжения НКФ-110 (ООО «Екатеринбург Энерго»);
- проведён выбор электрических аппаратов в РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения металлургического завода. Выбраны следующие современные аппараты: выключатель ВВЭ-М-10-20 (ООО «ЭЛКО»), выключатель нагрузки ВНА-10/16000 (ООО «УралЭлектро»), трансформатор тока ТПЛ-Э-12(ООО «Екатеринбург Энерго»);
- выбраны трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/10 для установки на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения металлургического завода;
- приведены основные этапы выполнения монтажных работ, особенности и техника, которые применяются для данной цели;
- описаны основные мероприятия при приёме оборудования эксплуатации оборудования и организации данного процесса при выполнении работ на объекте.

Предложенный в работе проект системы электроснабжения металлургического завода характеризуется надёжностью, экономичностью и безопасностью.

### 3 Техничко-экономические показатели спроектированной системы электроснабжения

В работе определяются технико-экономические показатели проектных решений на внедрение спроектированной системы электроснабжения металлургического завода. Затраты на оборудование для электроснабжения завода, а также затраты на его монтаж, представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты расчета капиталовложений

Оборудование	Кол-во, шт.	Цена за шт., тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.	Трудоемкость монтажа оборудования, чел·ч
Силовой трансформатор ТРДН-6000/110	2	1700	3400	312
Разъединитель РДЗ-110/1000	6	100	600	49
Ограничитель перенапряжения ОПН-П-110	6	25	150	140
Выключатель 110 кВ ВВЭ-М-10-20/1000	3	110	330	46
Ограничитель перенапряжения ОПН-10У1	4	20	80	83
Ячейка КРУ2-10-20 У2	36	35	1260	46
Шкаф КРУ	4	250	1000	105
КТП 2х3200/10	1	450	450	652
КТП 2х2500/10	1	420	420	647
КТП 2х1600/10	2	370	740	535
КТП 2х1250/10	2	360	720	470
КТП 2х1000/10	2	350	700	455
КТП 2х630/10	1	330	330	455
УК-10-100У3	10	10	100	270
Итого	-	-	10280	4265

Суммарная стоимость оборудования определяется суммой затрат на всё используемое оборудование [3]:

$$P_{об} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i. \quad (54)$$

Согласно данным таблицы 9:

$$P_{об} = 10280 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет транспортно-заготовительных расходов осуществляется по формуле:

$$P_{тран} = \frac{P_{об} \cdot K_{тран}}{100}, \quad (55)$$

где  $K_{тран}$  – процент транспортно-заготовительных расходов на заводе.

$$P_{ТЗР} = (10280 \cdot 21,6) / 100 = 222,1 \text{ тыс.руб}$$

Полная стоимость потерь электрической энергии в сети за год (компенсация за потери электроэнергии) рассчитывается так:

$$I_{\mathcal{E}} = c \cdot \mathcal{E}_{ГОД}, \quad (56)$$

где  $c$  – стоимость 1 кВт·ч по одноставочному тарифу;

$\mathcal{E}_{ГОД}$  – величина потерь электроэнергии в цеховых ТП-10/0,4 кВ завода за год, которая определяется как:

$$\mathcal{E}_{ГОД} = \sum P \cdot T_{МАХ}, \quad (57)$$

где  $\sum P$  – потери активная мощность заводской сети ( $\sum P = 296,5$  кВт);

$T_{МАХ} = 4800$  часов (рассчитаны в работе ранее).

$$\mathcal{E}_{ГОД} = 296,5 \cdot 4800 = 1423200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$I_{\mathcal{E}} = 1423200 \cdot 3,08 = 4383456 \text{ руб.}$$

Приближенная списочная численность монтажного персонала рассчитывается по формуле [3]:

$$C_i = \frac{T_{p\Sigma}^i}{\Phi^n \cdot k_{ен} \cdot k_u^i}, \quad (58)$$

где  $k_{ен}$  – коэффициент выполнения норм;

$\Phi^n$  – плановый фонд полезного времени одного рабочего;

$k_u^i$  – коэффициент использования рабочего времени;

$T_{p\Sigma}^i$  - общая трудоемкость работ по монтажу оборудования.

Приближенная списочная численность персонала:

$$C_i = \frac{4265}{2008 \cdot 1,1 \cdot 0,88} = 3,4 \text{ чел.}$$

Принимается  $C_i = 4$  человека в качестве монтажного персонала. Расчет основной заработной платы производственных рабочих, выполняющих работы по монтажу электрооборудования завода, представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Данные для расчёта основной заработной платы рабочих

Виды работ	Трудоемкость и зарплата			Количество рабочих, чел.
	Часы работы в день	Часовая тарифная ставка	Сменная зарплата, руб.	
Монтаж	8,0	100	800	4

Расчет основной заработной платы для рабочих завода за один день работы [1]:

$$Z_{осн.зар.} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_i, \quad (59)$$

$$Z_{осн.зар.} = 3200 \text{ руб.}$$

Количество рабочих дней в 2022 году составляет 251 рабочий день.

С учётом этого, основная заработная плата всех рабочих за год составит:

$$Z_{\text{осн. зар.}} = 800 \cdot 4 \cdot 251 = 803200 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата  $Z_d$  рассчитывается по формуле:

$$Z_d = \frac{Z_o \cdot H_d}{100}, \quad (60)$$

где  $H_d$  – норматив дополнительной заработной платы, %.

Дополнительная заработная плата за год составляет:

$$Z_d = \frac{803200 \cdot 15}{100} = 120480 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды:

$$Z_{cc} = \frac{(Z_o + Z_d) \cdot H_{cc}}{100}, \quad (61)$$

где  $H_{cc}$  – норматив отчислений на социальные нужды, %.

Таким образом, отчисления на социальные нужды за год составляют:

$$Z_{cc} = \frac{(1204800 + 803200) \cdot 30}{100} = 277104 \text{ руб.}$$

Величина накладных расходов:

$$P_{\text{накл}} = \frac{Z_{\text{осн. зар.}} \cdot H_{\text{накл}}}{100}, \quad (62)$$

где  $H_{\text{накл.}}$  – норматив накладных расходов, %.

Таким образом, величина накладных расходов:

$$P_{\text{накл.}} = \frac{803200 \cdot 21,3}{100} = 171081 \text{ руб.}$$

Величина полной себестоимости электроснабжения завода:

$$C_{\text{пол}} = P_{\text{об}} + P_{\text{тран}} + I_{\text{э}} + Z_{\text{o}} + Z_{\text{д}} + Z_{\text{сс}} + P_{\text{накл}}, \quad (63)$$
$$C_{\text{пол}} = 10280000 + 222100 + 4383456 + 803200 + \\ + 120480 + 277104 + 171081 = 16257421 \text{ руб.}$$

Прибыль:

$$\Pi = \frac{C_{\text{пол}} \cdot H_n}{100}, \quad (64)$$

где  $H_n$  – норматив прибыли, %.

$$\Pi = \frac{16257421 \cdot 25}{100} = 4064355,3 \text{ руб.}$$

Технико-экономические показатели приведены в таблице 12.

Для определения основных технико-экономических показателей объекта, рассчитаны следующие статьи расходов на внедрение проектных решений по проектированию и вводу в эксплуатацию спроектированной системы электроснабжения металлургического завода: суммарная стоимость оборудования, транспортно-заготовительные расходы, стоимость компенсации потерь электроэнергии, основная заработная плата рабочих, дополнительная заработная плата рабочих, отчисления на социальные нужды, накладные расходы, себестоимость.

Таблица 12 – Техничко-экономические показатели проектных решений

Статья расходов	Численный показатель статьи расходов, руб.
Суммарная стоимость оборудования	10280000
Транспортно-заготовительные расходы	222100
Стоимость компенсации потерь электроэнергии	4383456
Основная заработная плата рабочих	803200
Дополнительная заработная плата рабочих	120480
Отчисления на социальные нужды	277104
Накладные расходы	171081
Себестоимость	16257421
Прибыль	4064355,3

Полученные результаты расчётов экономических составляющих проекта предлагается принять во внимание (с учётом реальных корректирующих экономических параметров и коэффициентов).

Выводы по разделу 3.

В разделе рассчитаны основные технико-экономические показатели проектных решений по вводу в эксплуатацию спроектированной системы электроснабжения металлургического завода.

Для определения основных технико-экономических показателей объекта, рассчитаны следующие статьи расходов на внедрение проектных решений по проектированию и вводу в эксплуатацию спроектированной системы электроснабжения металлургического завода: суммарная стоимость оборудования, транспортно-заготовительные расходы, стоимость компенсации потерь электроэнергии, основная заработная плата рабочих, дополнительная заработная плата рабочих, отчисления на социальные нужды, накладные расходы, себестоимость.

Полученные результаты предлагается принять во внимание при практическом внедрении проекта.

## Заключение

В результате выполнения работы разработан проект системы электроснабжения металлургического завода.

Приведён исходный анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения металлургического завода, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по производственной среде.

Детально рассмотрены основные нормы и требования, предъявляемые к проектированию систем электроснабжения металлургических предприятий.

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта.

Рассмотрены основы проектирования систем электроснабжения металлургических заводов и комбинатов.

Установлено, что в схемах данных объектов крайне необходимо обеспечить наличие резерва, а также надёжного питания и защиты на всех звеньях.

При этом отмечено, что системы электроснабжения объектов металлургической промышленности, могут выполняться по классическим схемам электроснабжения (при питании от энергосистемы), а также по индивидуальным схемам электроснабжения (при питании от собственной ТЭЦ или ТЭС).

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения металлургического завода, обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

Исходя из задания и принятых решений по проектированию электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые практические мероприятия по разработке схемы электрических соединений РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП, а также распределительной сети ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения металлургического завода.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач и получены следующие основные результаты выбора и расчёта:

- исходя из расчётных данных, принята классическая схема питания металлургического завода от главной понизительной подстанции, с высшим напряжением 110 кВ и низшим напряжением 10 кВ, с применением двухступенчатой схемы трансформации электроэнергии (трансформаторы ГПП – трансформаторы цеховых ТП – потребители);
- выбрана радиальная схема с резервированием для питающей сети внешнего электроснабжения с питающей ГПП, а также девятью цеховыми двухтрансформаторными ТП-10/0,4 кВ;
- обеспечено питание высоковольтных двигателей насосной и компрессорной отдельными линиями по радиальной схеме электроснабжения, от ГПП-110/10 кВ завода;
- проведён расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей ГПП системы электроснабжения объекта исследования в целом, с учётом исходных данных и схемы электрических соединений;
- осуществлён выбор силовых трансформаторов ГПП-110/10кВ (два трансформатора марки ТДН-16000/110) и цеховых ТП-10/0,4 кВ (по два трансформатора ТМ-10/0,4 кВ различных типонаминалов) системы электроснабжения металлургического завода;

- выбраны компенсирующие устройства для компенсации реактивной мощности во внешней и во внутренней сети системы электроснабжения металлургического завода, установлено, что благодаря применению последних разработок, величина расчётной реактивной составляющей будет компенсирована путём установки компенсирующих устройств напряжением 0,4 кВ на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ во внутренней системе электроснабжения и на шинах 10 кВ РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения завода;
- проведён выбор и проверка проводников системы электроснабжения металлургического завода. Выбраны для питающей линии провод марки АС-70/11, а для отходящих линий – силовые кабели марки АСБ-10 различных сечений;
- определены токи короткого замыкания в сетях напряжением 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения металлургического завода;
- проведён выбор электрических аппаратов в РУ-110 кВ ГПП системы электроснабжения металлургического завода. Выбраны следующие современные аппараты: разъединитель РГ-110/1000 (производитель – ТМ «Энергия»), выключатель ВРС-110-31,5 (ООО «НТЭАЗ Электрик»), трансформаторы тока ТОГФ-110 и напряжения НКФ-110 (ООО «Екатеринбург Энерго»);
- проведён выбор электрических аппаратов в РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения металлургического завода. Выбраны следующие современные аппараты: выключатели ВВЭ-М-10-20 (ООО «ЭЛКО»), выключатели нагрузки ВНА-10/16000 (ООО «УралЭлектро»), трансформаторы тока ТПЛ-Э-12(ООО «Екатеринбург Энерго»);
- выбраны трансформаторы собственных нужд марки ТМ-25/10 для установки на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения металлургического завода;

- приведены основные этапы выполнения монтажных работ, особенности и техника, которые применяются для данной цели;
- описаны основные мероприятия при приёме оборудования эксплуатации оборудования и организации данного процесса при выполнении работ на объекте.

Рассчитаны основные технико-экономические показатели проектных решений по вводу в эксплуатацию спроектированной системы электроснабжения металлургического завода.

Для определения основных технико-экономических показателей объекта, рассчитаны следующие статьи расходов на внедрение проектных решений по проектированию и вводу в эксплуатацию спроектированной системы электроснабжения металлургического завода: суммарная стоимость оборудования, транспортно-заготовительные расходы, стоимость компенсации потерь электроэнергии, основная заработная плата рабочих, дополнительная заработная плата рабочих, отчисления на социальные нужды, накладные расходы, себестоимость.

Принятые решения по выбору и внедрению мероприятий по проектированию системы электроснабжения металлургического завода основываются на результатах сравнительного анализа перспективных разработок новейшего современного оборудования, инновационных схемных решений, нормативно-правовых документах, современных типовых проектах в данной отрасли.

Предложенный в работе проект системы электроснабжения металлургического завода характеризуется надёжностью, экономичностью и безопасностью.

Полученные результаты предлагается принять во внимание при практическом внедрении проекта.

## Список используемых источников

1. Водяников В.Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК. М.: Колос, 2018. 263 с.
2. Ермилов А. А. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Эксмо, 2021. 159 с.
3. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Томск: ТПУ, 2019. 249 с.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
5. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2017. 236 с.
6. Луковников А.В. Современные перспективные решения на производстве. М.: Колос, 2021. 360 с.
7. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. М: «Энергия», 2020. 84 с.
8. Неклепаев Б.В. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М: ЭНАС, 2018. 145 с.
9. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 2018. 356 с.
10. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
11. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. М: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. 282 с.
12. Полуянович Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Лань, 2019. 400 с.
13. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
15. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
16. Рогалев Н.Д. Экономика энергетики: учебное пособие для ВУЗов. М.: «МЭИ», 2019. 288 с.
17. Родыгина С. В., Павлюченко Д.А. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. 47 с.
18. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018.
19. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина. М.: Энергоатомиздат, 2019. 576 с.
20. Фризен В.Э, С.Л. Назаров С.Л. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018. 184 с.