

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 Электроснабжение группы цехов судостроительного предприятия

Обучающийся

О. А. Нефедова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О. В. Самолина

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

Тольятти 2024

Аннотация

В работе осуществлена разработка мероприятий по проектированию группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток, с разработкой и последовательной проверкой основных принятых решений.

Проведён анализ исходных данных по объекту проектирования предприятия.

Приведены требования основных нормативных документов, на основании которых разработан комплекс мероприятий по рациональному и качественному проектированию группы цехов завода.

В работе на основе полученных результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания, обоснован выбор числа и мощности трансформаторов на питающей главной понизительной подстанции (далее – ГПП), цеховых понизительных подстанциях (далее – ТП), электрических аппаратов и проводников во всей структуре объекта, а также устройств релейной защиты и автоматики на питающей ГПП в системе электроснабжения объекта исследования.

Таким образом, разработан проект системы электроснабжения группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток, в котором учтены рациональные схемные решения, а также показатели надёжности, экономичности, бесперебойности снабжения потребителей электроэнергией и безопасности принятых решений.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Краткая характеристика организации.....	7
1.2 Анализ технических данных на проектирование	10
1.3 Требования, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий	13
2 Выбор схемы электроснабжения группы цехов	17
3 Расчёт электрических нагрузок	22
4 Выбор и проверка трансформаторов ГПП и цеховых ТП	25
4.1 Выбор и проверка трансформаторов ГПП	25
4.2 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП.....	27
5 Расчёт токов короткого замыкания	30
6 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов.....	38
6.1 Выбор и проверка проводников	38
6.2 Выбор распределительных устройств.....	44
6.3 Выбор и проверка электрических аппаратов	49
7 Выбор устройств и расчёт уставок релейной защиты силового трансформатора ГПП.....	54
Заключение	58
Список используемых источников.....	61

Введение

Проектирование систем электроснабжения предприятий в Российской Федерации является актуальной и важной задачей для обеспечения надежной и бесперебойной работы производственных процессов, а также для повышения энергоэффективности и сокращения эксплуатационных расходов.

В настоящее время в России действуют нормативные документы, регламентирующие правила и требования к проектированию систем электроснабжения предприятий. Это, прежде всего, Правила устройства электроустановок (ПУЭ), которые устанавливают общие требования к электрооборудованию, электроустановкам и сетям, а также правила их проектирования, монтажа, эксплуатации и ремонта. Кроме того, существуют отраслевые нормативные документы, регламентирующие проектирование систем электроснабжения для конкретных видов производств.

В связи с ростом энергопотребления и развитием новых технологий, возрастает потребность в создании эффективных и надежных систем электроснабжения.

При проектировании систем электроснабжения предприятий применяются различные методы и подходы, которые позволяют решить поставленную задачу в оптимальном варианте.

Одним из основных методов является анализ надежности, который позволяет определить вероятность отказа системы электроснабжения и выбрать наиболее надежный вариант проекта. Для этого используются различные математические модели и методы статистического анализа.

Кроме того, применяются методы оптимизации, которые позволяют выбрать наиболее эффективный вариант проекта с точки зрения сочетания затрат и результатов.

К таким методам относятся, например, методы линейного и нелинейного программирования, методы динамического программирования и другие.

Важным аспектом проектирования систем электроснабжения является также учет энергоэффективности и энергосбережения. Для этого используются специальные программные средства, которые позволяют моделировать работу системы электроснабжения и определять потенциальные возможности по снижению энергопотребления.

В целом, проектирование систем электроснабжения предприятий в Российской Федерации требует комплексного подхода, который включает в себя использование современных нормативных документов, применение эффективных методов и подходов, а также использование специальных программных средств для моделирования и анализа работы систем электроснабжения.

Таким образом, проектирование систем электроснабжения предприятий в Российской Федерации является актуальной и важной задачей, которая требует квалифицированного подхода и использования современных технологий. Данный аспект обуславливает актуальность и практическую ценность настоящей работы.

«Основной целью работы является разработка мероприятий по проектированию системы электроснабжения группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток» [11].

Объектом исследования является схема и основное оборудование проектируемой системы электроснабжения данного объекта.

Предметом исследования выступает комплекс технико-экономических параметров и характеристик системы электроснабжения объекта исследования. К ним относятся надёжность, безопасность, экономичность и экологичность.

Для достижения основной цели работы, необходимо провести решение следующих основных задач:

- провести анализ исходных данных на проектирование с рассмотрением состава и характеристик объекта проектирования, с

приведением технических данных по номинальным установленным параметрам (напряжению, максимальной проектной нагрузке и условиям работы);

- привести требования основных нормативных документов, на основании которых разработать комплекс мероприятий по рациональному и качественному проектированию группы цехов завода;
- «на основании анализа основных сведений и положений нормативных документов, разработать, обосновать и реализовать комплекс мероприятий по проектированию системы электроснабжения объекта;
- на основе полученных результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания, обосновать выбор числа и мощности трансформаторов на питающей ГПП» [11], цеховых ТП, электрических аппаратов и проводников во всей структуре объекта, а также устройств релейной защиты и автоматики на питающей ГПП в системе электроснабжения объекта исследования.

В результате выполнения работы необходимо разработать оптимальный проект системы электроснабжения группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток, в котором будут учтены рациональные схемные решения.

1 Анализ исходных данных

1.1 Краткая характеристика организации

Рассматриваемая в работе организация АО ВП «ЭРА», расположена в Приморском крае, во Владивостоке, на улице Пионерской, 1. Она является производителем электронной и электрической аппаратуры [4].

Также организация осуществляет ремонт и обслуживание различного типа электрооборудования (в последние годы компания специализируется в основном на судовом электрооборудовании) [3].

Основными видами деятельности АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток являются комплектование электронной, навигационной и электрической силовой и управляющей аппаратурой кораблей и судов различного типа, а также обслуживание, ремонт и модернизация данного вида оборудования кораблей и гражданских судов. Кроме того, АО ВП «ЭРА» предоставляет услуги по проектированию, разработке и внедрению интеллектуальных систем управления и автоматизации процессов на кораблях и судах. Компания имеет богатый опыт в реализации сложных проектов в области автоматизации, в том числе систем мониторинга и контроля двигателей, энергетических установок, навигационного оборудования и систем связи.

На предприятии работает высококвалифицированный персонал, имеющий опыт работы в области судостроения и электроники. Сотрудники компании постоянно повышают свой профессиональный уровень, проходя обучение и стажировки на ведущих предприятиях отрасли.

АО ВП «ЭРА» активно сотрудничает с заказчиками как из России, так и из других стран. Компания имеет хорошую репутацию надежного и ответственного партнера, способного выполнить работу в срок и с высоким качеством. Основные преимущества АО ВП «ЭРА» [4]:

- богатый опыт в области судовой электроники и автоматизации;
- высококвалифицированный персонал;

- современное оборудование и технологии;
- надежность и качество выполняемых работ;
- индивидуальный подход к каждому заказу;
- гибкая ценовая политика.

АО ВП «ЭРА» всегда открыто для сотрудничества и готово предложить своим заказчикам оптимальные решения в области судовой электроники и автоматизации. Предприятие также имеет разработанную инфраструктуру для обеспечения высокого качества работ, включая собственные производственные мощности, испытательные комплексы и лаборатории.

АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток регулярно участвует в выставках и форумах, посвященных судостроению и судоремонту, и имеет хорошую репутацию на российском и международном рынках. В настоящее время АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток реализует ряд крупных проектов в области судостроения и судоремонта. Организационно-управленческая схема АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток представлена на рисунке 1.

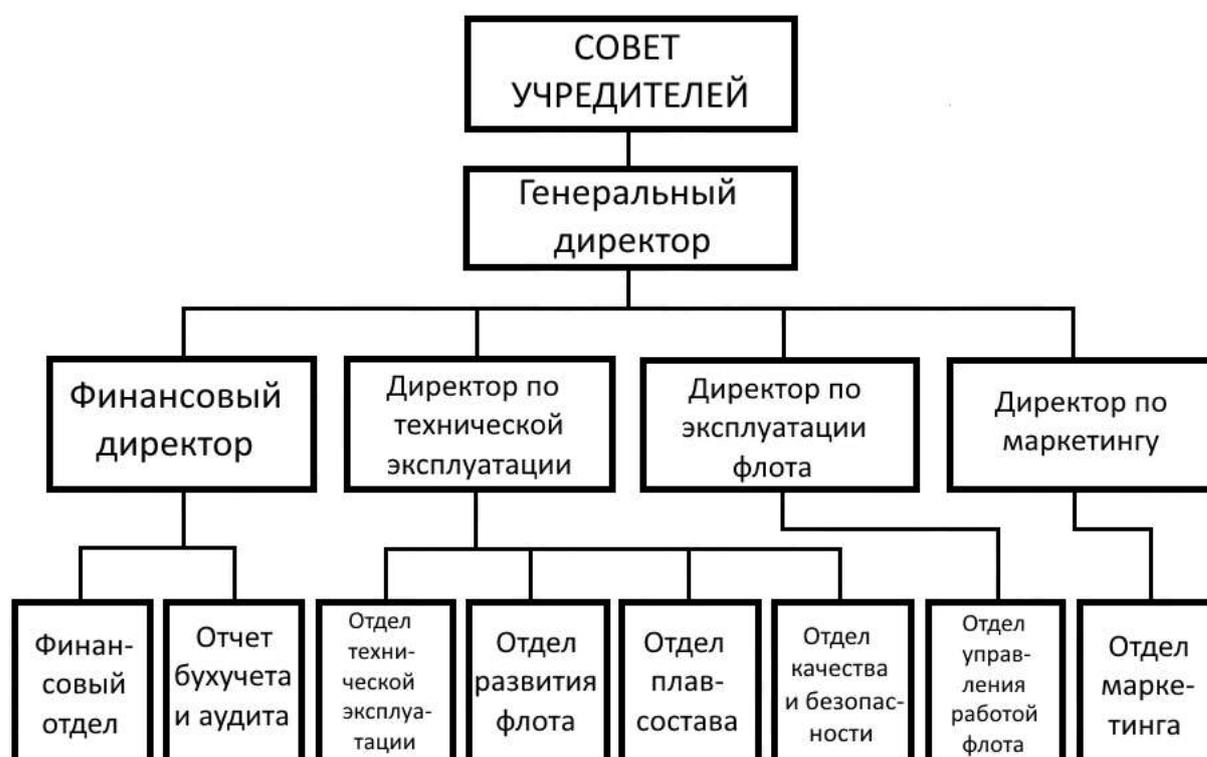


Рисунок 1 – Организационно-управленческая схема АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток

Помимо комплектования и «обслуживания электронной, навигационной и электрической силовой и управляющей аппаратурой, а также ремонта и модернизации данного оборудования, АО ВП «ЭРА» предоставляет следующие услуги:

- проектирование и разработка электрических схем и систем автоматизации для судов и кораблей;
- поставка и монтаж электрооборудования, включая кабельные линии, распределительные щиты, двигатели, генераторы и прочую силовую аппаратуру и оборудование;
- пусконаладочные работы и настройка систем управления и автоматизации;
- проведение испытаний и сертификация электрооборудования и систем управления» [3];
- обучение персонала судов и кораблей работе с электронной, навигационной и электрической аппаратурой;
- сервисное обслуживание и техническая поддержка электронной, навигационной и электрической аппаратуры, систем управления и автоматизации;
- поставка и монтаж средств связи и радионавигационного оборудования;
- проектирование и монтаж систем видеонаблюдения и контроля доступа;
- разработка и внедрение систем мониторинга и диагностики электрооборудования и систем управления.

Компания также выполняет работы по модернизации и переоснащению судов и кораблей, в том числе по замене устаревшего оборудования и внедрению новых технологий. АО ВП «ЭРА» гарантирует высокое качество выполняемых работ и соответствие всех устанавливаемых систем и оборудования требованиям международных стандартов.

Данный вопрос детально исследуется в настоящей работе.

1.2 Анализ технических данных на проектирование

В работе объектом, который рассмотрен детально, является новое производственное подразделение предприятия, состоящее из совокупности производственных цехов (группы цехов).

Данный объект новый, поэтому проектируется и вводится в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью.

Установлено, что к основным технологическим потребителям группы новых производственных цехов судостроительного группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток относятся следующие производственно-административные цеховые комплексы (укрупнённые модули):

- цеховой производственный комплекс обслуживания и ремонта силовых установок;
- цеховой производственный комплекс обслуживания и ремонта электрооборудования;
- цеховой производственный комплекс обслуживания и ремонта оборудования систем жизнеобеспечения судна;
- цеховой производственный комплекс ремонта и модернизации навигационного и радиотехнического оборудования;
- цеховой производственный комплекс обслуживания и ремонта корпуса судна;
- цеховой производственный комплекс окраски и сушки;
- приёмно-сдаточный и испытательный комплекс;
- административно-технический комплекс.

Таким образом, на проектируемом объекте предприятия применяется укрупнённый «блочный» принцип.

Такой подход является современным решением, при котором все объекты равномерно обеспечиваются электропитанием, без перекосов фаз и искажений в сети.

Кроме того, такой подход позволяет добиться максимальных показателей надёжности, так как объекты классифицируются по категории надёжности, исходя из «высшей» категории потребителей, которые на нём присутствуют.

Следовательно, применение такого подхода в проектировании нового объекта предприятия, обосновано.

Технические данные максимальных нагрузок потребителей группы новых производственных цехов судостроительного группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток (укрупнённых модулей) представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Данные потребителей группы новых производственных цехов судостроительного группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток (укрупнённых модулей)

Наименование подразделения (укрупнённого модуля)	Номер цеха по плану	Установленная мощность, Рм, кВт	Категория надёжности
Цеховой производственный комплекс обслуживания и ремонта силовых установок	1	6500,0	I
Цеховой производственный комплекс обслуживания и ремонта электрооборудования	2	3100,0	II
Цеховой производственный комплекс обслуживания и ремонта оборудования систем жизнеобеспечения судна	3	2500,0	II
Цеховой производственный комплекс ремонта и модернизации навигационного и радиотехнического оборудования	4	2000,0	II
Цеховой производственный комплекс обслуживания и ремонта корпуса судна	5	2400,0	I
Цеховой производственный комплекс окраски и сушки	6	1800,0	II
Приёмо-сдаточный и испытательный комплекс	7	1200,0	II
Административно-технический комплекс	8	900,0	II
Всего нагрузки потребителей	-	20400,0	I, II

План расположения потребителей группы новых производственных цехов судостроительного группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток (укрупнённых модулей) представлен на рисунке 2. При этом на рисунке 2

номера объектов по плану предприятия соответствуют сведениям, приведённым в таблице 1.

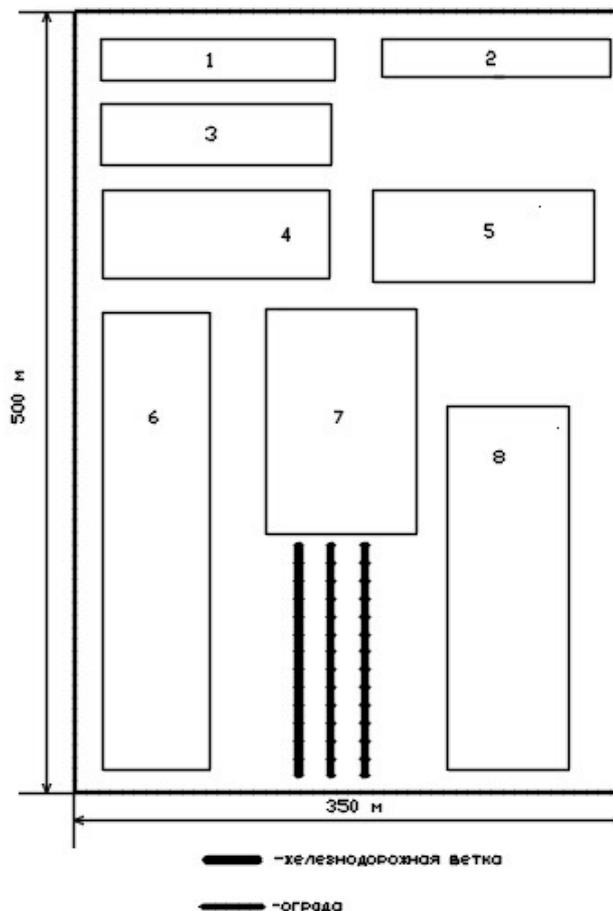


Рисунок 2 – План расположения потребителей группы новых производственных цехов судостроительного группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток (укрупнённых модулей)

Таким образом, установлено, что в работе необходимо спроектировать систему электроснабжения группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток.

В результате проведения анализа исходных данных определено, что к основным технологическим потребителям группы новых производственных цехов судостроительного группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток относятся восемь производственно-административных комплексов (укрупнённых модуля). Данные объекты преимущественно относятся ко 2 категории надёжности, поэтому на источнике питания необходимо установить два ввода. Решение поставленных задач осуществляется в работе далее.

1.3 Требования, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий

Прежде, чем рассматривать требования к системам электроснабжения (далее – СЭС) предприятий, необходимо рассмотреть структуру их систем и подсистем.

«Известно, что в системах электроснабжения предприятий выделяется несколько систем и подсистем, которые выполняют важную функцию в обеспечении бесперебойной передачи электроэнергии потребителям определённой категории надёжности» [11].

При этом структура системы электроснабжения предприятий зависит от мощности, которую потребляет предприятие [7].

Структура системы электроснабжения промышленных предприятий небольшой мощности показана на рисунке 3.

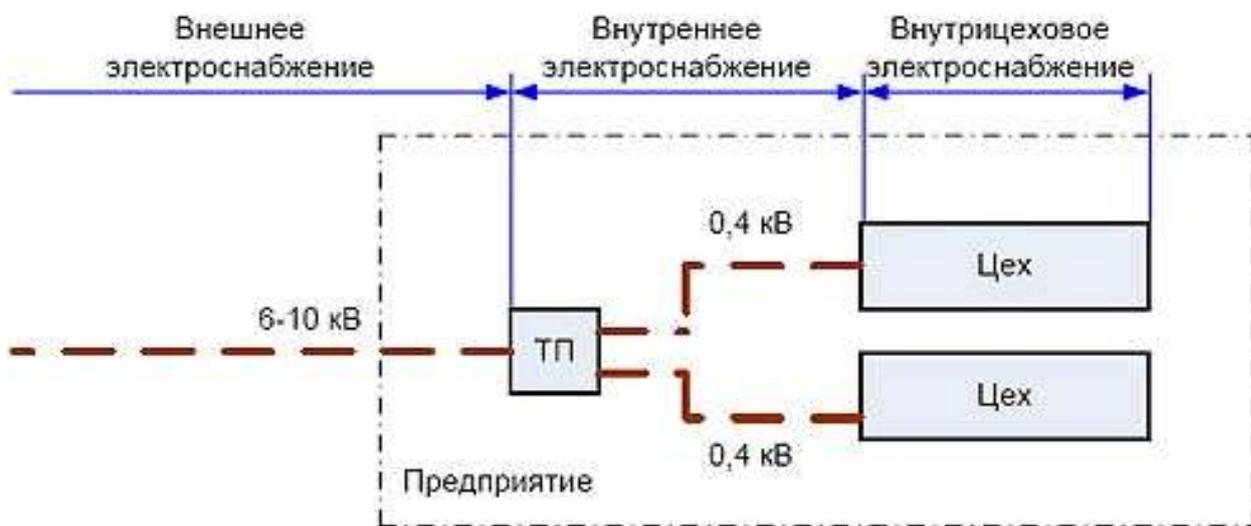


Рисунок 3 – Структура системы электроснабжения промышленных предприятий небольшой мощности

Структура системы электроснабжения промышленных предприятий средней мощности показана на рисунке 4.

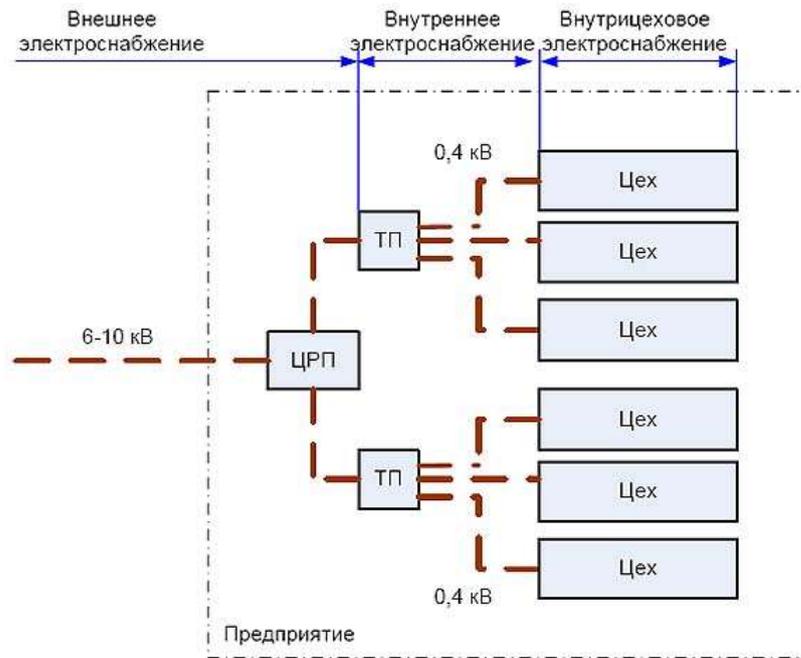


Рисунок 4 – Структура системы электроснабжения промышленных предприятий средней мощности

Структура системы электроснабжения промышленных предприятий большой мощности показана на рисунке 5.

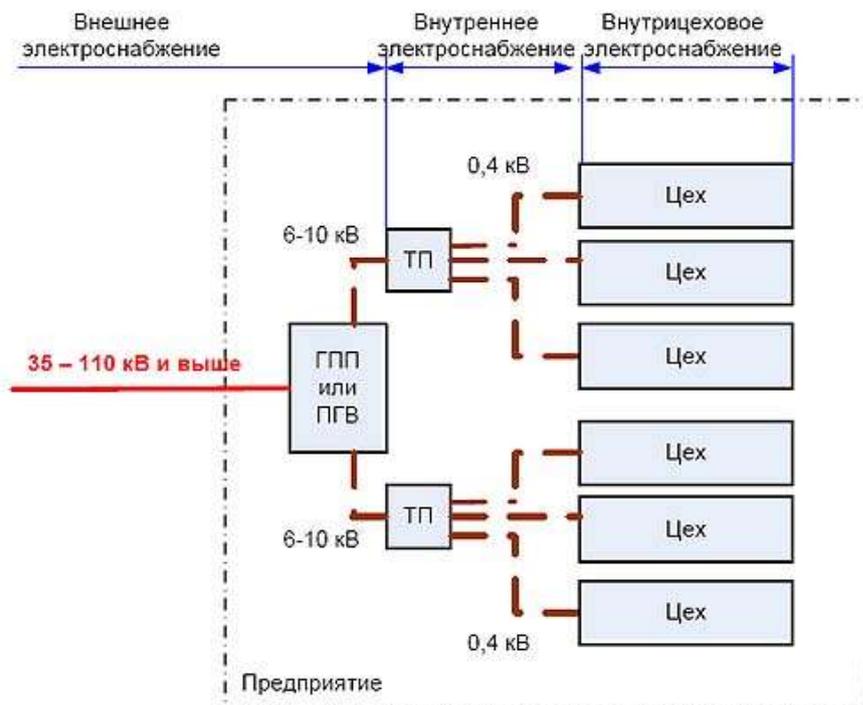


Рисунок 5 – Структура системы электроснабжения промышленных предприятий большой мощности

К системам электроснабжения судостроительных предприятий, а также ко всем их подсистемам, предъявляются повышенные требования, обеспечивающие бесперебойную работу и надежность энергообеспечения.

К основным требованиям относятся [7], [11]:

- надежность и безопасность: системы электроснабжения должны быть надежными и безопасными, чтобы исключить риск аварий и отказов, которые могут привести к прекращению работы предприятия, а также угрозе жизни и здоровью людей;
- соответствие нормативным требованиям: СЭС должны соответствовать действующим нормативным документам, регламентирующим требования к проектированию, строительству, эксплуатации и техническому обслуживанию электрических сетей и оборудования;
- соответствие параметрам качества электроэнергии;
- гибкость и масштабируемость, чтобы обеспечить возможность расширения и модернизации электрических сетей в соответствии с изменяющимися потребностями предприятия;
- аварийная готовность: СЭС должны быть готовы к работе в аварийных режимах и обеспечивать быстрое восстановление энергоснабжения в случае возникновения аварийных ситуаций;
- учет экологических требований: системы электроснабжения должны учитывать экологические требования и осуществлять мониторинг и контроль выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Соответствие этим требованиям позволяет обеспечить надежную и безопасную работу предприятий энергетического комплекса, а также улучшить эффективность и экологичность их деятельности.

Выводы по разделу.

В результате проведения анализа исходных данных на проектирование, а также существующих технических условий, предлагаются следующие рекомендации по дальнейшему проектированию системы электроснабжения

группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток:

- «проектируемую электрическую сеть предприятия предложено запитать от РУ-10 кВ собственной главной понизительной подстанции (ГПП)» [11], что будет способствовать минимизации потерь электроэнергии, а также значительную экономию средств;
- так как в проектируемую систему электроснабжения предприятия входят восемь производственных цехов (укрупнённых модулей), относящихся ко 2 категории надёжности, следовательно, их необходимо обеспечить питанием от шин заводской ГПП, схему и мощность которой выбрать в работе далее;
- «питание всех производственных объектов, относящихся к 1 и 2 категориям надёжности, на всех уровнях СЭС необходимо осуществлять по двум линиям с резервированием с помощью сети цеховых ТП-6(10)/0,4 кВ» [11];
- для обеспечения условий надёжности, на всех уровнях СЭС необходимо применять автоматическое резервирование и секционирование;
- для питания конечных потребителей объекта проектирования предлагается использовать кабельные линии 10 кВ и 0,4 кВ (по условиям безопасности).

Приведённые мероприятия планируется внедрить в работе далее, с детальной проверкой результатов принятых решений.

2 Выбор схемы электроснабжения группы цехов

Как было установлено ранее, для питания системы электроснабжения объекта проектирования принимается за основу принцип компоновки схем для питания крупных предприятий (производственных объектов), которая представлена на рисунке 5.

Следовательно, в качестве источника питания принимается главная понизительная подстанция (ГПП) [7].

После ГПП, дальнейшее распределение электроэнергии осуществляется через цеховые понизительные трансформаторные подстанции (ТП) [7].

Ранее в работе, в результате проведения анализа исходных данных определено, что к основным технологическим потребителям группы новых производственных цехов судостроительного группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток относятся восемь производственно-административных цеховых комплексов (укрупнённых модуля).

Данные объекты преимущественно относятся ко 2 категории надёжности, поэтому на всех источниках питания (как внешней СЭС – ГПП, так и внутренней СЭС – цеховых ТП) необходимо установить два ввода.

Рассматривается выбор схемных решений для использования на ГПП объекта проектирования.

На ГПП приняты следующие классы напряжения (РУ ГПП):

- 110 кВ;
- 10 кВ.

«В работе предлагается применить схему 110 – 5Н «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий» (рисунок 6)» [5].

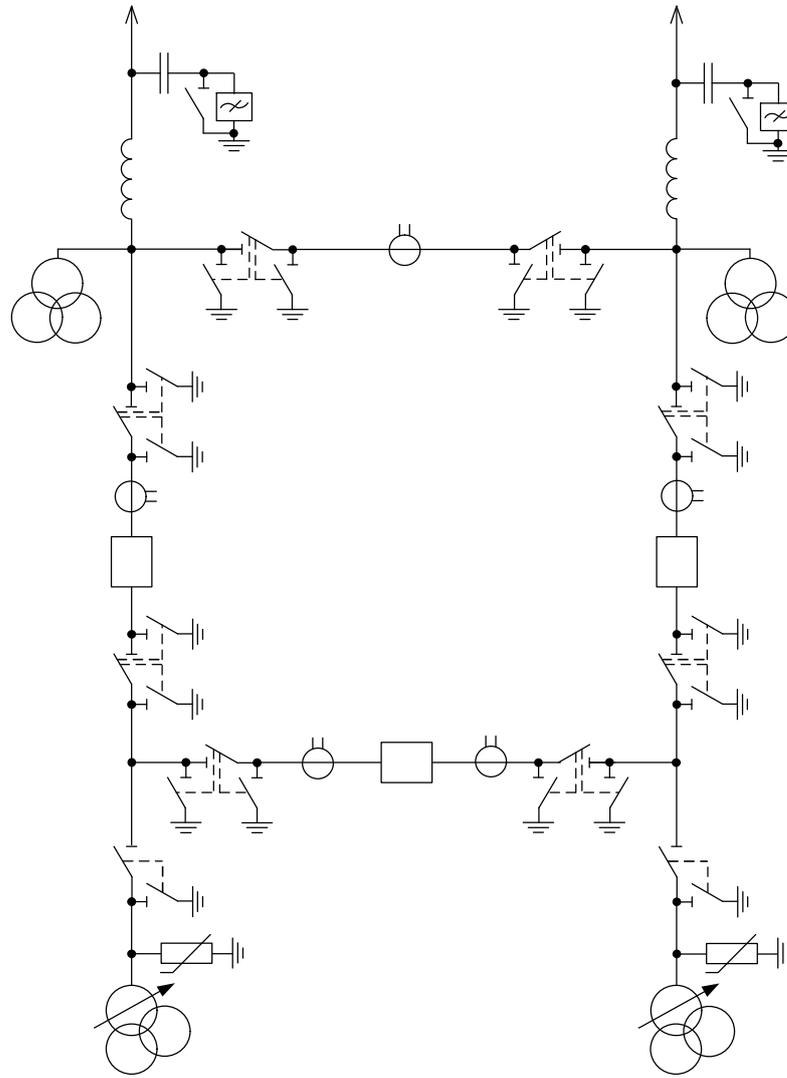


Рисунок 6 – Схема 110 – 5Н ГПП-110/10 кВ объекта проектирования

Известно, что такая рекомендуемая схема является одной из распространенных схем коммутации в электроэнергетических системах.

Она используется для обеспечения коммутации и переключения энергии в линейных цепях при необходимости проведения ремонтных или технических работ.

Схема 110 - 5Н обладает несколькими существенными преимуществами [5]:

- гибкость и управляемость. Схема позволяет гибко управлять подачей энергии в линейные цепи. Выключатели обеспечивают возможность отключения и включения энергии по необходимости, а ремонтная перемычка позволяет создавать обходные пути для обслуживания и

- ремонта без необходимости отключения всей системы;
- безопасность. Выключатели обеспечивают контролируемое и безопасное отключение энергии в линейных цепях. Ремонтная перемычка позволяет изолировать область ремонтных работ, предотвращая возможность непреднамеренного подключения энергии во время проведения работ;
 - удобство обслуживания и ремонта. Благодаря наличию ремонтной перемычки, обслуживание и ремонтные работы могут быть проведены без необходимости отключения всей системы. Это позволяет сократить время простоя и обеспечить более эффективное планирование и выполнение работ;
 - надежность. Использование мостика с выключателями обеспечивает надежность работы системы. При необходимости замены или ремонта одного из выключателей, другие выключатели на мостике продолжают обеспечивать нормальную передачу энергии.

Для РУ 10 кВ рассматриваемой подстанции принята типовая схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин» [5] (рисунок 7).

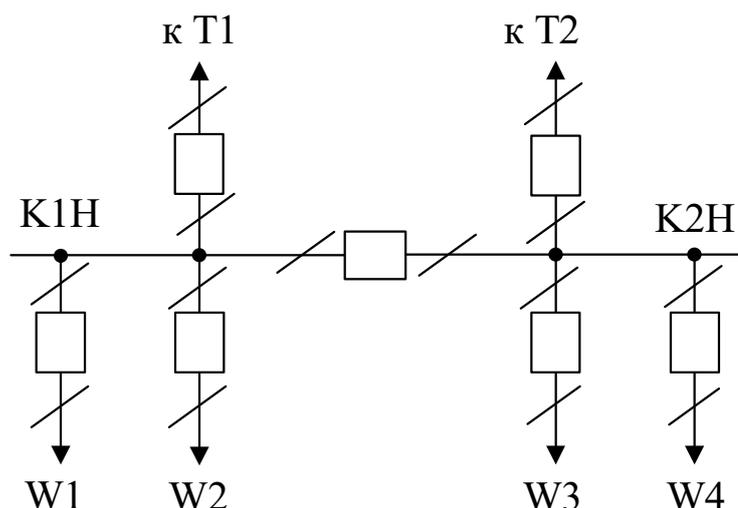


Рисунок 7 – Схема РУ-10 кВ на стороне НН ГПП-110/10 кВ

На рисунке 7 разъединители показаны упрощённо.

Такая схема является одной из распространенных и надёжных схем,

используемых в подстанциях для электроэнергетических систем и предприятий.

Она представляет собой конфигурацию, в которой используется одна рабочая секция секционированной системы шин и выключатель для подключения или отключения данной секции.

Основные особенности данной схемы [5]:

- в этой схеме используется секционированная система шин, которая разделяет подстанцию на отдельные секции. Это позволяет отключать и включать отдельные секции независимо друг от друга, что упрощает обслуживание и ремонтные работы;
- в схеме используется только одна рабочая секция, что означает, что все нагрузки и устройства подключаются к этой секции. Это облегчает планирование и монтаж оборудования;
- выключатель используется для подключения или отключения рабочей секции. Он обеспечивает контролируемое и безопасное отключение и включение энергии в секцию;
- схема 10-1 является простой и компактной, что упрощает ее проектирование, монтаж и эксплуатацию.

Также данная схема обеспечивает гибкость и управляемость системы, позволяет проводить обслуживание и ремонтные работы без отключения всей подстанции и обеспечивает надежную передачу энергии.

Схема, применяемая в РУ-10 кВ на стороне НН ГПП-110/10 кВ объекта проектирования, является наиболее распространённой в сетях 6(10) кВ при двух источниках питания [5].

От шин РУ 10 кВ ГПП-110/10 кВ планируется запитать восемь понизительных цеховых подстанций на напряжении 10 кВ, которые преобразуют напряжение 10 кВ в напряжение 0,38/0,22 кВ для распределения по отдельным потребителям группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток.

Отдельных высоковольтных потребителей в системе электроснабжения

объекта проектирования не предусмотрено, поэтому все нагрузки будут запитаны через цеховые ТП на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Реализация данных схемных решений проводится в работе далее.

Выводы по разделу.

Исходя из норм проектирования и исходных технических данных, в качестве источника питания объекта проектирования принимается главная понизительная подстанция (ГПП), на которой приняты следующие классы напряжения (РУ ГПП):

- 110 кВ (РУ ВН);
- 10 кВ (РУ НН).

«На стороне 110 кВ ГПП-110/10 кВ принята схема 110 – 5Н «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий».

На стороне 10 кВ принята типовая схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин»» [5].

От шин РУ 10 кВ ГПП-110/10 кВ планируется запитать восемь понизительных цеховых подстанций на напряжении 10 кВ, которые преобразуют напряжение 10 кВ в напряжение 0,38/0,22 кВ для распределения по отдельным потребителям группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток. Причём все цеховые ТП-10/0,4 кВ планируется выполнить двухтрансформаторными, так как все объекты относятся к 1 или 2 категории надёжности, требующих двух независимых источников питания.

Отдельных высоковольтных потребителей в системе электроснабжения объекта проектирования не предусмотрено, поэтому все нагрузки будут запитаны через цеховые ТП на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Таким образом, все схемные решения в работе подтверждены и приняты окончательно.

3 Расчёт электрических нагрузок

Основная цель расчета электрических нагрузок новых производственных цехов судостроительного группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток заключается в нахождении максимально возможных токовых перегрузок, которые будут приходиться на систему электроснабжения в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Расчёт проводится методом коэффициента спроса.

Активная нагрузка объектов, кВт» [7]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (1)$$

где « P_n – номинальная (паспортная) активная нагрузка, кВт;

K_c – значение коэффициента спроса» [7].

«Полная нагрузка, кВА» [7]:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi}. \quad (2)$$

«Реактивная нагрузка, квар» [7]:

$$Q_p = \sqrt{S_p^2 - P_p^2}. \quad (3)$$

«Групповые расчётные нагрузки системы электроснабжения предприятия» [7]:

$$P_{p.\Sigma} = \sum P_p. \quad (4)$$

$$Q_{p.\Sigma} = \sum Q_p. \quad (5)$$

$$S_{P.\Sigma} = \sqrt{P_{P.\Sigma}^2 + Q_{P.\Sigma}^2}. \quad (6)$$

«Коэффициент мощности» [7] электрической сети предприятий:

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p}. \quad (7)$$

«На примере первого подразделения» [7]:

$$P_p = 6500 \cdot 0,8 = 5200 \text{ кВт.}$$

$$S_p = \frac{5200}{0,94} = 5532 \text{ кВА.}$$

$$Q_p = \sqrt{5532^2 - 5200^2} = 1887,6 \text{ квар.}$$

Аналогичные расчёты проведены для остальных подразделений системы электроснабжения и всего объекта (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок предприятия

Наименование подразделения (укрупнённого модуля)	P_m , кВт	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Производственный комплекс обслуживания и ремонта силовых установок	6500,0	5200,0	1887,6	5532,0
Производственный комплекс обслуживания и ремонта электрооборудования	3100,0	2480,0	900,1	2638,3
Производственный комплекс обслуживания и ремонта оборудования систем жизнеобеспечения судна	2500,0	2240,0	813,1	2383,0
Производственный комплекс ремонта и модернизации навигационного и радиотехнического оборудования	2000,0	1600,0	580,6	1702,1
Производственный комплекс обслуживания и ремонта корпуса судна	2400,0	1920,0	697,0	2042,6
Производственный комплекс окраски и сушки	1800,0	1440,0	522,9	1532,0
Приёмо-сдаточный и испытательный комплекс	1200,0	960,0	348,5	1021,3
Административно-технический комплекс	900,0	720,0	261,4	766,0
Всего по объекту проектирования	20400,0	16560,0	6011,2	17617,3

Таким образом, в работе получены результаты расчёта нагрузок участков и всего объекта проектирования.

Выводы по разделу.

Проведён расчёт электрических нагрузок участков и всего объекта проектирования.

Данный расчёт проведён с использованием рекомендованного коэффициента спроса, который рекомендован для расчёта электрических нагрузок предприятий, так как даёт наиболее точный результат, учитывая режимы работы оборудования подразделений.

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок проектируемой системы электроснабжения группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток и всей питающей ГПП-110/10 кВ, используются в работе далее.

4 Выбор и проверка трансформаторов ГПП и цеховых ТП

4.1 Выбор и проверка трансформаторов ГПП

Как было указано ранее, для проектируемой системы электроснабжения группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток, источником питания внешней СЭС является главная понизительная подстанция ГПП-110/10 кВ.

При этом, так как на подстанции устанавливаются два силовые трансформатора, также необходимо учесть возможность допустимой перегрузки трансформатора в случае выхода другого трансформатора из строя в результате возможной аварии.

Кроме того, трансформаторы проверяются по условиям допустимой перегрузки в температурном режиме (с учётом их системы охлаждения).

Предварительно планируется выбрать трансформаторы марки ТДН-110/10.

У таких трансформаторов на подстанции система охлаждения типа Д.

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на ГПП» [8]:

$$S_{\text{НОМ.Т}} \geq \frac{S_{\text{М.ГПП}}}{N \cdot K_3}, \quad (8)$$

где « $S_{\text{М.ГПП}}$ – максимальное значение полной расчетной нагрузки ГПП-110/10 кВ» [8].

«Для силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ, которая питает внешнюю СЭС предприятия» [8]:

$$S_{\text{НОМ.Т}} \geq \frac{17617,3}{2 \cdot 0,7} = 12583,8 \text{ кВА.}$$

Выбираются по результатам расчёта два силовых трансформатора ближайшей номинальной мощности 16000 кВА, марки ТДН-16000/110.

«Проверка на соответствие номинальной мощности трансформатора расчётной мощности объекта проектирования» [8]:

$$16000 \text{ кВА} \geq 12583,8 \text{ кВА.}$$

«Условие выполняется.

Проверка трансформатора на перегрузочную способность» [8]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{\text{М.ГПП}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} \leq 0,7. \quad (9)$$

$$K_{з.п} = \frac{S_{\text{М.ГПП}}}{S_{\text{НОМ.Т}}} \leq 1,4. \quad (10)$$

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [8]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 17617,3}{16000} = 0,55 \leq 0,7.$$

«Проверка в послеаварийном режиме выполняется» [8]:

$$K_{з.п} = \frac{17617,3}{16000} = 1,1 \leq 1,4.$$

«Установлено, что выбранные силовые трансформаторы марки ТДН-16000/110, отвечают требованиям максимальной загрузки в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Таким образом, они принимаются окончательно для установки на питающей ГПП-110/10 кВ СЭС объекта проектирования» [8].

4.2 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП

В работе необходимо выбрать новые цеховые ТП-10/0,4 кВ (далее – ЦТП-10/0,4 кВ) для питания рассчитанной ранее нагрузки системы электроснабжения группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток.

На объекте проектирования «предлагается все новые ЦТП-10/0,4 кВ сделать двухтрансформаторными, ставя отдельную цеховую понизительную подстанцию для питания каждого из них» [8]. Следовательно, в работе для питания нагрузки потребителей цехов, выбираются встроенные ТП.

«Мощность трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ» [14]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (11)$$

где « $\sum P_{\text{р.}}$ – суммарная активная нагрузка объектов, кВт;

N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.;

$\beta_{\text{т}}$ – нормируемое значение коэффициента активной загрузки трансформаторов подстанции» [14].

«По условию (11) на примере новой цеховой ТП-1» [14]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{6500}{2 \cdot 0,85} = 3823,5 \text{ кВА.}$$

«Исходя из результатов расчёта, на ЦТП-1 рекомендованы к установке два силовых трансформатора ТМГ-4000/10» [12].

Известно, что силовые трансформаторы марки ТМГ имеют ряд преимуществ по сравнению с аналогичными трансформаторами марки ТМ, которые заключаются в повышенной надёжности, уменьшенных габаритах (за счёт выполнения модификации без расширительного бака), упрощении

обслуживания (про этой же причине), а также уменьшении потерь электроэнергии за счёт повышения общего КПД (большая часть электроэнергии, проходящей через трансформатор, преобразуется в полезную работу, а не теряется в виде тепла).

Проверки по перегрузочной способности выполняются:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 6500}{4000} = 0,81 \leq 0,85.$$

$$K_{з.п} = \frac{6500}{4000} = 1,625 \leq 1,7.$$

Выбраны трансформаторы для установки на ЦТП (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты выбора трансформаторов на ЦТП-10/0,4 кВ внутренней системы электроснабжения предприятия

Наименование подразделения (укрупнённого модуля)	Категория надёжности	Номер ЦТП	Количество и марка трансформаторов	P_{Σ} , кВА
Производственный комплекс обслуживания и ремонта силовых установок	I	ЦТП № 1	2×ТМГ-4000/10	6500,0
Производственный комплекс обслуживания и ремонта электрооборудования	II	ЦТП № 2	2×ТМГ-2000/10	3100,0
Производственный комплекс обслуживания и ремонта оборудования систем жизнеобеспечения судна	II	ЦТП № 3	2×ТМГ-1600/10	2500,0
Производственный комплекс ремонта и модернизации навигационного и радиотехнического оборудования	II	ЦТП № 4	2×ТМГ-1250/10	2000,0
Производственный комплекс обслуживания и ремонта корпуса судна	I	ЦТП № 5	2×ТМГ-1600/10	2400,0
Производственный комплекс окраски и сушки	II	ЦТП № 6	2×ТМГ-1250/10	1800,0
Приёмо-сдаточный и испытательный комплекс	II	ЦТП № 7	2×ТМГ-1000/10	1200,0
Административно-технический комплекс	II	ЦТП № 8	2×ТМГ-630/10	900,0

Все цеховые ТП-10/0,4 кВ внутренней системы электроснабжения предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток выполнены в виде комплектных подстанций, которые удобнее, компактнее и надёжнее закрытых и открытых типов подстанций [10].

Выводы по разделу.

Выбраны и проверены число, мощности и типноминалы силовых трансформаторов проектируемой системы электроснабжения группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток.

Для установки на питающей ГПП-110/10 кВ объекта проектирования обосновано использование двух силовых трансформаторов марки ТДН-16000/110.

Для питания нагрузки на стороне 0,38/0,22 кВ, выбраны и проверены восемь двухтрансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ с трансформаторами марки ТМГ.

5 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания (КЗ) имеет ключевое значение для выбора подходящих защитных устройств и обеспечения безопасной и надежной работы электрической системы.

Также рассматривается расчёт в среднем («нулевом») и минимальном положении РПН трансформаторов.

С учётом данного факта, составляется расчетная однолинейная схема системы электроснабжения, на которой показаны расчётные точки КЗ.

Расчетная однолинейная схема «для расчёта токов короткого замыкания на подстанции ГПП-110/10 кВ объекта проектирования показана на рисунке 8 [13].

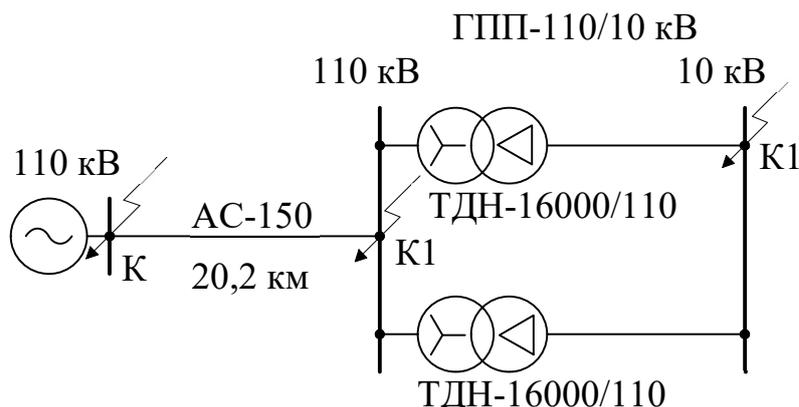


Рисунок 8 – «Расчетная однолинейная схема для расчёта токов короткого замыкания» [12]

«В результате анализа исходных данных установлено, что токи КЗ на шинах 110 кВ питающей подстанции энергосистемы (в точке К)» [13]:

- в режиме максимальной нагрузки $I_{\text{к}}^{(3)}_{\text{макс}} = 1500 \text{ А} = 1,5 \text{ кА}$;
- в режиме минимальной нагрузки $I_{\text{к}}^{(3)}_{\text{мин}} = 1200 \text{ А} = 1,2 \text{ кА}$.

Результаты токов КЗ в расчётной точке К используются при расчёте сопротивления и прочих параметров энергосистемы.

Составляется схема замещения электрической сети, на которой показаны расчетные параметры элементов сети (рисунок 9).

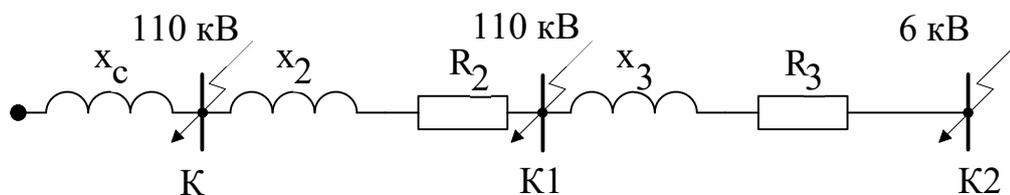


Рисунок 9 – «Схема замещения электрической сети для расчета токов короткого замыкания» [12]

«Расчет токов трехфазного КЗ выполняется в именованных единицах, принимается за базис напряжение» [13] $U_n = 110$ кВ. В максимальном режиме данное напряжение будет $U_6 = 115$ кВ.

Сопротивление системы (на напряжение 110 кВ) [13]:

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{к.макс}^{(3)}}. \quad (12)$$

С учётом «токов КЗ на шинах 110 кВ энергосистемы в максимальном режиме» [13] (в точке К):

$$X_c = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 1,5} = 44,3 \text{ Ом}.$$

Находятся сопротивления питающей ЛЭП 110 кВ суммарной длиной $L=20,2$ км, выполненной проводом с удельными параметрами $r_{уд} = 0,37$ Ом/км, $x_{уд} = 0,385$ Ом/км [13]:

$$R_2 = r_{уд} \cdot L, \quad (13)$$

$$X_2 = x_{уд} \cdot L, \quad (14)$$

где « $x_{уд}$ - удельное сопротивление ВЛ, Ом/км;

L - суммарная длина ВЛ, км» [13].

Для условий работы:

$$R_2 = 0,37 \cdot 20,2 = 7,47 \text{ Ом.}$$

$$X_2 = 0,385 \cdot 20,2 = 7,78 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление до расчётной точки К1:

$$X_{c.2} = X_c + X_2, \text{ Ом.} \quad (15)$$

$$R_{c.2} = R_2, \text{ Ом.} \quad (16)$$

В числовых значениях:

$$X_{c.2} = 44,3 + 7,78 = 52,08 \text{ Ом.}$$

$$R_{c.2} = 7,47 \text{ Ом.}$$

Далее определяются параметры схемы замещения силового трансформатора, установленного на ГПП-110/10 кВ.

Технические данные трансформатора ТДН-16000/110: $U_{вн}=115$ кВ; $U_{нн}=10,5$ кВ; $U_{к \text{ мин}}=6,9$ %; $U_{к \text{ ср}}=7,5$ %; $U_{к \text{ макс}}=7,6$ %; РПН $\pm 2 \times 2,5$ %; $\Delta P_k=33,5$ кВт.

Данный «тип трансформатора выполняется с устройством регулирования напряжения типа РПН.

Известно, что данное устройство имеет 3 основных положения: среднее («нулевое»), минимальное (минус 5% от среднего) и максимальное» [13] (плюс 5% к среднему).

Расчёты в точке К2 проводятся для каждого из указанных положений.

Активное сопротивление трансформатора с учётом напряжения положения устройства РПН $U_{п}$ [13]:

$$R_{т.п} = \frac{\Delta P_k \cdot 10^{-3} \cdot U_{п}^2}{S_{\text{ном.т.}}^2} \quad (17)$$

Активное сопротивление трансформатора (РПН находится в среднем или «нулевом» положении):

$$R_{3\text{cp}} = \frac{33,5 \cdot 10^{-3} \cdot 115^2}{16^2} = 4,43 \text{ Ом.}$$

Для минимального положения РПН трансформатора:

$$R_{3\text{мин}} = \frac{33,5 \cdot 10^{-3} \cdot (115 \cdot (1 - 0,05))^2}{16^2} \approx 4,00 \text{ Ом.}$$

Для максимального положения РПН трансформатора:

$$R_{3\text{макс}} = \frac{33,5 \cdot 10^{-3} \cdot (115 \cdot (1 + 0,05))^2}{16^2} = 4,88 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление трансформатора с учётом напряжения положения устройства РПН $U_{\text{п}}$:

$$X_{\text{т.п}} = \frac{U_{\text{к.ср.}\%} \cdot U_{\text{п}}^2}{100 \cdot S_{\text{ном.т.}}} \quad (18)$$

Индуктивное сопротивление силового трансформатора в среднем положении РПН:

$$X_{3\text{cp}} = \frac{7,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 16^2} = 9,92 \text{ Ом.}$$

Для минимального положения РПН:

$$X_{3\text{мин}} = \frac{6,9 \cdot (115 \cdot (1 - 0,05))^2}{100 \cdot 16^2} = 8,24 \text{ Ом.}$$

Для максимального положения РПН:

$$X_{3\text{макс}} = \frac{7,6 \cdot (115 \cdot (1 + 0,05))^2}{100 \cdot 16^2} = 11,08 \text{ Ом.}$$

Определяется ток КЗ в точке К1 (для среднего положения РПН).

«Суммарное активное сопротивление» [13]:

$$R_{\Sigma} = R_{c,2}, \text{ Ом.} \quad (19)$$

$$R_{\Sigma} = 7,47 \text{ Ом.}$$

«Суммарное индуктивное сопротивление» [13]:

$$X_{\Sigma} = X_{c,2}, \text{ Ом.} \quad (20)$$

$$X_{\Sigma} = 52,08 \text{ Ом.}$$

«Суммарное полное сопротивление» [13]:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}. \quad (21)$$

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{7,47^2 + 52,08^2} = 52,62 \text{ Ом.}$$

«Ток трехфазного короткого замыкания в расчётной точке К1 определяется с учётом того, что точка находится перед трансформатором (на стороне ВН – 110 кВ)» [13], поэтому положение устройства РПН U_{Π} для данной точки не учитывается:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_\Sigma}, \text{ А.} \quad (22)$$

Ток трёхфазного КЗ точке К1:

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 52,62} = 1,26 \text{ кА.}$$

«Ударный ток короткого замыкания» [13]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_k^{(3)}, \text{ кА,} \quad (23)$$

где « $k_{уд}$ – ударный коэффициент тока короткого замыкания» [13].

Ударный коэффициент определяется так:

$$k_{уд} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{X_\Sigma/R_\Sigma}}. \quad (24)$$

Для расчётной точки К1:

$$k_{уд.к1} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{21,25/7,47}} = 1,36.$$

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,36 \cdot 1,26 = 2,42 \text{ кА.}$$

Ток трехфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 определяется с учётом того, что данная точка находится после трансформатора (на стороне НН – 10 кВ), поэтому положение устройства РПН U_n для данной точки необходимо учесть.

Рассчитывается ток трехфазного короткого замыкания для точки К2 (для среднего положения РПН).

Суммарное активное сопротивление [13]:

$$R_{\Sigma} = R_{c,2} + R_{3\text{cp}}, \text{ Ом.} \quad (25)$$
$$R_{\Sigma} = 7,47 + 4,43 = 11,9 \text{ Ом.}$$

Суммарное индуктивное сопротивление [13]:

$$X_{\Sigma} = X_{C,2} + X_{3\text{cp}}, \text{ Ом.} \quad (26)$$
$$X_{\Sigma} = 52,08 + 9,92 = 62,00 \text{ Ом.}$$

Суммарное полное сопротивление [13]:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}. \quad (27)$$
$$Z_{\Sigma} = \sqrt{11,9^2 + 62,0^2} = 63,13 \text{ Ом.}$$

Ток трёхфазного КЗ точке К2 для среднего («нулевого») положения РПН, при приведении ко второй ступени напряжения, на которой находится точка К2 (сеть 10 кВ РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ):

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 63,13} \cdot \frac{115}{6,3} \approx 19,2 \text{ кА.}$$

Ударный коэффициент и ударный ток в точке К2 определяется так:

$$k_{уд.к2} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3}{62/11,9}} = 1,34.$$
$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,34 \cdot 19,2 = 36,38 \text{ кА.}$$

Аналогично определены токи КЗ в расчётных точках К1 и К2 в минимальном и максимальном положении устройства РПН.

Результаты данного расчета токов короткого замыкания и ударных токов сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Токи короткого замыкания и ударные токи в основных расчётных точках КЗ

Положение устройства РПН трансформатора ГПП-110/10 кВ	Параметр, единица измерения	Точка КЗ	
		К1 (110 кВ)	К2 (10 кВ)
Среднее	$I_k^{(3)}$, кА	1,26	19,20
	$i_{уд}$, кА	2,42	36,38
Минимум	$I_k^{(3)}$, кА	1,26	19,57
	$i_{уд}$, кА	2,42	36,84
Максимум	$I_k^{(3)}$, кА	1,26	19,08
	$i_{уд}$, кА	2,42	36,12

Полученные результаты используются в работе далее при выборе и проверке электрических аппаратов.

Выводы по разделу.

В работе получены результаты расчёта нагрузок участков электрической сети в расчётных точках КЗ и всего объекта проектирования в целом.

Проведён расчёт токов трёхфазного короткого замыкания на шинах питающей ГПП-110/10/10 кВ в максимальном и минимальном режимах работы, обусловленных соответствующими положениями устройства РПН силового трансформатора данной подстанции.

6 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов

6.1 Выбор и проверка проводников

Выбор и проверка проводников в проектируемой системе электроснабжения группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток играют ключевую роль в обеспечении безопасности и надежности данных электрических сетей.

Неверный выбор проводников может привести к перегреву, пожару, авариям и другим опасным ситуациям.

При выборе проводников для трансформаторной подстанции необходимо учитывать несколько важных факторов [11]:

- максимальный ток нагрузки: необходимо определить максимальный ток, который будет проходить через проводник, и выбрать проводник с соответствующим сечением;
- длина линии: с увеличением длины линии растут потери электроэнергии, поэтому важно выбрать проводник с меньшим сопротивлением, как правило, большего сечения;
- условия эксплуатации: необходимо учитывать температуру окружающей среды, влажность, наличие химически активных веществ и другие факторы, которые могут повлиять на состояние проводника;
- напряжение: необходимо выбрать проводник, соответствующий номинальному напряжению трансформаторной подстанции.

Внимательное отношение к этим факторам при выборе проводников помогает избежать опасных ситуаций и обеспечивает безопасную и надежную работу электрических сетей.

Исходя из принятых задач на выполнение работы, проводится выбор и проверка проводников в системе электроснабжения проектируемой системы электроснабжения группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток.

К решению данного вопроса применяется комплексный подход.

Как было указано ранее, на первом этапе необходимо определить максимальный ток нагрузки на вводных, секционных и линейных присоединениях подстанции.

Максимальный ток на вводах силового трансформатора питающей ГПП-110/10 кВ [15]:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{н.тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (28)$$

где $S_{\text{н.тр.}}$ – номинальная мощность трансформатора подстанции, кВА;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение на соответствующей обмотке силового трансформатора, кВ.

Для вводов 110 кВ:

$$I_{\max.110} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 112,6 \text{ А.}$$

Для вводов 10 кВ:

$$I_{\max.10} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1177,1 \text{ А.}$$

Результаты расчётов максимальных рабочих токов вводных присоединений питающей ГПП-110/10 кВ сведены в таблицу 5.

Токи на отходящих линиях к потребителям ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения группы цехов предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток определяются по выражению [15]:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot S_{\max}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (29)$$

где S_{\max} – максимальная мощность соответствующего потребителя системы электроснабжения группы цехов предприятия, кВА;
 n – число линий, по которым питается данный потребитель, шт.

На примере линейного присоединения 10 кВ «Производственный комплекс обслуживания и ремонта силовых установок» проектируемой системы электроснабжения группы цехов предприятия:

$$I_{\max} = \frac{1,4 \cdot 5532}{\sqrt{3} \cdot 10} = 447,7 \text{ А.}$$

Аналогично определены значения максимальных рабочих токов на остальных линейных присоединениях питающей ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения группы цехов предприятия.

Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта максимальных рабочих токов

Наименование потребителя (присоединения)	I_{\max} , А
Вводные присоединения	
Ввод 110 кВ	112,6
Ввод 10 кВ	1177,1
Линейные присоединения	
Производственный комплекс обслуживания и ремонта силовых установок	447,7
Производственный комплекс обслуживания и ремонта электрооборудования	213,5
Производственный комплекс обслуживания и ремонта оборудования систем жизнеобеспечения судна	192,8
Производственный комплекс ремонта и модернизации навигационного и радиотехнического оборудования	137,7
Производственный комплекс обслуживания и ремонта корпуса судна	165,3
Производственный комплекс окраски и сушки	124,0
Приёмо-сдаточный и испытательный комплекс	82,6
Административно-технический комплекс	62,0

Результаты используются далее при выборе проводников и основного оборудования. Учитывая питающую сеть региона, предлагается питающую линию 110 кВ выполнить в виде воздушной линии электропередачи. При этом предложено применить новейшие провода марки AERO-Z. Провода марки AERO-Z являются одними из новейших разработок в области воздушных линий электропередачи. Эти провода изготавливаются из высокопрочных алюминиево-стальных композитных материалов, которые обеспечивают высокую прочность и надежность при передаче электроэнергии на большие расстояния [12].

Провода AERO-Z имеют улучшенные характеристики по сравнению с традиционными проводами, такими как А, АС и АСК. Они имеют более высокую температурную стойкость, большую прочность на разрыв и лучшую устойчивость к механическим повреждениям. Это позволяет использовать их в более сложных условиях эксплуатации и снизить риск аварийных ситуаций.

Одной из главных особенностей проводов AERO-Z является их способность к самоочищению от накопления грязи и пыли. Это достигается за счет специального покрытия, наносимого на поверхность провода, которое предотвращает прилипание грязи и облегчает её удаление при воздействии ветра, снега и дождя. В настоящее время провода AERO-Z все более широко используются в строительстве новых воздушных линий электропередачи и замене устаревших проводов. Таким образом, выбор данного типа проводников для применения на питающей ВЛ-110 кВ, обоснован.

В работе также подлежат выбору и проверке проводники отходящих линий 10 кВ. Они выполняются в виде кабельных линий с использованием кабелей марки ААБВ-10. Кабели марки ААБВ-10 имеют ряд преимуществ, которые делают их идеальным выбором для использования в электросетях. Они обладают высокой температурной стойкостью и повышенной изоляцией, что позволяет использовать их в широком диапазоне температур и в различных условиях. Кроме того, они имеют улучшенные характеристики пожаробезопасности, что делает их более безопасным выбором для

использования в населенных пунктах. Также кабели ААБВ-10 просты в установке и обслуживании, что уменьшает затраты на их эксплуатацию [6].

«Проводится практический выбор сечения питающей линии 110 кВ.

По экономической плотности тока» [11]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (30)$$

где « j_3 – экономическая плотность тока, А/мм²» [11].

«Проверка выбранного сечения провода в нормальном режиме» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (31)$$

где « $I_{\text{доп}}$ – предельно – допустимое значение тока проводника, А» [11].

«Проверка проводника в послеаварийном режиме работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (32)$$

где « $I_{p.\text{max}}$ – максимальный ток, А» [11].

«Проверка по климатическим условиям (минимальное допустимое сечение проводника)» [11]:

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (33)$$

«Проводится практический выбор сечения провода питающей воздушной линии 110 кВ» [11]:

$$F_3 = \frac{112,6}{1,1} = 102,4 \text{ мм}^2.$$

«Для ВЛ-110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ предварительно подтверждён провод марки АААС АЕРО-Z 177 А3F» [12].

«Условия проверки сечения провода ВЛ-110 кВ по условиям (28) – (30) соблюдены» [11]:

$$506 \text{ A} \geq 80,4 \text{ A.}$$

$$506 \text{ A} \geq 112,6 \text{ A.}$$

$$177 \text{ мм}^2 \geq 120 \text{ мм}^2.$$

Сечение проводников остальных линий выбраны аналогично и представлены в таблице 6. При выборе кабелей использовался источник [18].

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки сечения проводников

Линия	$I_{p,max}$, А	F, мм ²	Количество проводников×ма рка проводника	$I_{доп}$. А
Питающая ВЛ-110 кВ	112,6	120	2×АААС АЕРО- Z 177 А3F	2×506
Линейные присоединения 10 кВ (кабельные линии)				
Производственный комплекс обслуживания и ремонта силовых установок	447,7	185	2×ААБв -10 (3×185)	2×400
Производственный комплекс обслуживания и ремонта электрооборудования	213,5	95	2×ААБв -10 (3×95)	2×265
Производственный комплекс обслуживания и ремонта оборудования систем жизнеобеспечения судна	192,8	95	2×ААБв -10 (3×95)	2×265
Производственный комплекс ремонта и модернизации навигационного и радиотехнического оборудования	137,7	70	2×ААБв -10 (3×70)	2×215
Производственный комплекс обслуживания и ремонта корпуса судна	165,3	70	2×ААБв -10 (3×70)	2×215
Производственный комплекс окраски и сушки	124,0	70	2×ААБв -10 (3×70)	2×215
Приёмо-сдаточный и испытательный комплекс	82,6	35	2×ААБв -10 (3×35)	2×150
Административно-технический комплекс	62,0	35	2×ААБв -10 (3×35)	2×150

Сечения всех выбранных проводников показаны в графической части работы.

6.2 Выбор распределительных устройств

Проводится выбор новых современных распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ для установки на питающей ГПП-110/10 кВ внешней СЭС группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток. Выбору подлежат типы РУ-110 кВ и РУ-10 кВ. В работе для применения на стороне 110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ, выбирается современное комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией (КРУЭ 110). Это – современное высоковольтное электрооборудование, предназначенное для распределения и управления электроэнергией напряжением 110 кВ в электрических сетях.

На стороне 110 кВ ГПП-110/10 кВ устанавливается КРУЭ серии ЯГТ-110, производства компании АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ» [2] с номинальным напряжением 110 кВ.

Внешний вид данного КРУЭ представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – КРУЭ серии ЯГТ-110 производства компании АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ»

КРУЭ серии ЯГТ-110 – это комплектное распределительное устройство электроснабжения наружной установки, предназначенное для питания и

управления электрооборудованием напряжением 110 кВ. Этот продукт производится компанией АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ», которая является одним из ведущих производителей высоковольтного оборудования в России.

КРУЭ серии ЯГТ-110 представляет собой модульное устройство, выполненное в виде металлического корпуса, в котором размещены все необходимые элементы электрооборудования. Оно оснащено трансформаторами тока и напряжения, выключателями, разъединителями, контакторами, а также системой дистанционного управления и контроля.

Основные преимущества КРУЭ серии ЯГТ-110 заключаются в высокой надежности и эксплуатационной безопасности, а также в простоте и удобстве монтажа и эксплуатации. Кроме того, это устройство имеет высокую степень защиты от внешних воздействий, что позволяет использовать его в сложных климатических условиях и в районах с повышенной сейсмической активностью [2].

Выбранное КРУЭ серии ЯГТ-110 также обладает рядом других преимуществ, которые делают его привлекательным выбором для применения в проектируемой системе электроснабжения группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток:

- высокая модульность: КРУЭ серии ЯГТ-110 имеет высокую степень модульности, что позволяет легко настраивать его под конкретные требования заказчика. Это означает, что заказчик может выбрать только те функциональные модули, которые необходимы для его конкретного применения, тем самым снижая общую стоимость и упрощая обслуживание;
- надежность: данная разработка имеет высокую надежность и долговечность, обеспечиваемую использованием высококачественных компонентов и материалов, а также проведением тщательных испытаний и тестов;
- экономичность: такое КРУЭ позволяет экономить за счет снижения потерь электроэнергии, благодаря использованию эффективных

трансформаторов и коммутационного оборудования. Кроме того, его модульная структура упрощает обслуживание и ремонт, что также снижает эксплуатационные расходы;

- безопасность: ячейки КРУЭ оснащены современными системами защиты и безопасности, которые обеспечивают защиту персонала и оборудования от аварийных ситуаций. Это включает в себя защиту от перенапряжения, перегрузки, короткого замыкания и других аварийных режимов;
- экологичность: КРУЭ данной серии соответствует всем действующим экологическим нормам и стандартам, что делает его безопасным для окружающей среды. Кроме того, его модульная структура позволяет легко утилизировать отдельные компоненты, что также способствует сохранению окружающей среды.

КРУЭ серии ЯГТ-110 может использоваться в различных отраслях промышленности, таких как нефтегазовая, химическая, горнодобывающая, металлургическая, а также в энергетике и транспорте.

Оно может эксплуатироваться при температуре окружающей среды от -60°C до +50°C, что делает его пригодным для использования в широком диапазоне климатических зон.

Компания АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ» обеспечивает гарантию на свою продукцию, а также предоставляет услуги по сервисному обслуживанию и ремонту КРУЭ серии ЯГТ-110. Данный факт позволяет обеспечить надежность и долговечность эксплуатации оборудования, а также минимизировать риск возникновения аварийных ситуаций.

Таким образом, выбор данного типа КРУЭ-110 кВ для применения на питающей ГПП-110/10 кВ группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток, полностью обоснован.

Для применения на стороне 10 кВ питающей ГПП-110/10 кВ принимается комплектное закрытое распределительное устройство (КЗР) с ячейками

марки КРУ 2-10 К2-МУ. Ячейки КРУ 2-10 К2-МУ – это современные коммутационные устройства, предназначенные для установки в комплектных распределительных устройствах электроснабжения (КРУЭ) внутренней установки. Эти ячейки производятся компанией ООО ПКП «Завод СЭА» и относятся к линейке оборудования, предназначенного для работы в сетях с номинальным напряжением до 10 кВ [20].

«Основными преимуществами ячеек КРУ 2-10 К2-МУ являются:

- высокая надежность и долговечность, обеспечиваемые применением высококачественных материалов и компонентов, а также использованием современных технологий производства;
- возможность дистанционного управления вакуумным выключателем, выкатным элементом и заземляющим разъединителем;
- видеофиксация положения выкатного элемента и заземляющего разъединителя;
- дистанционный контроль температуры контактных соединений выключателя и кабельных присоединений;
- все основные узлы (выключатель, трансформаторы тока и напряжения, изоляторы) российского производства, изготавливаются на одном предприятии, что гарантирует их надёжную совместную работу;
- удобство в эксплуатации, обусловленное простотой конструкции» [20], наличием удобных элементов управления и контроля, а также возможностью дистанционного управления и мониторинга работы ячеек;
- возможность гибкого конфигурирования, обеспечиваемая широким выбором исполнений и опций, позволяющим адаптировать ячейки под конкретные требования и условия эксплуатации;
- высокая степень защиты от воздействия внешних факторов, таких как влажность, пыль, агрессивные среды, а также механические повреждения;

- соответствие всем действующим нормам и стандартам в области безопасности и электромагнитной совместимости.

Внешний вид ячейки комплектного закрытого распределительного устройства (КЗР) марки КРУ 2-10 К2-МУ представлен на рисунке 11.

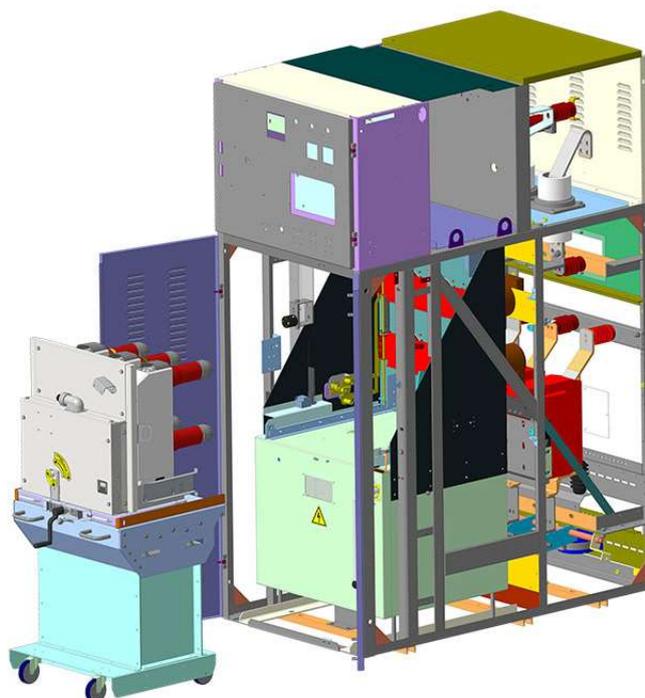


Рисунок 11 – Внешний вид ячейки комплектного закрытого распределительного устройства марки КРУ 2-10 К2-МУ

Таким образом, выбор комплектного распределительного устройства закрытого типа с ячейками марки КРУ 2-10 К2-МУ, обоснован.

«В результате выбора новых современных распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ для установки на питающей ГПП-110/10 кВ внешней СЭС группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток, приняты следующие решения:

- на стороне 110 кВ ГПП-110/10 кВ принято к установке КРУЭ ЯГТ-110» [11], производства компании АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ»;
- на стороне 10 кВ выбрано для внедрения комплектное распределительное устройство закрытого типа с ячейками марки КРУ 2-10 К2-МУ производства ООО ПКП «Завод СЭА».

6.3 Выбор и проверка электрических аппаратов

Далее проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ для установки на питающей ГПП-110/10 кВ СЭС группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток.

Ранее на ГПП-110/10 кВ в результате модернизации выбраны следующие типы современных РУ:

- «РУ 110 кВ – комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией (КРУЭ);
- РУ 10 кВ – комплектное закрытое внутренней установки (вакуумная изоляция)» [11].

С учётом этого, для всех них необходимо будет выбрать оборудование, которое устанавливается в данных РУ.

При выборе необходимо учитывать, что каждое конкретное РУ может комплектоваться определенным оборудованием.

Методика выбора аппаратов взята из [16].

В РУ-110 кВ проводится выбор определённых модулей выбранного ранее КРУЭ-110 кВ серии ЯГТ-110 [2].

В РУ-10 кВ проводится выбор конкретных одиночных аппаратов для комплектации данных типов ячеек [9], [19].

Основными коммутационными и защитными аппаратами являются выключатели высокого напряжения.

«Поэтому в первую очередь проводится их выбор и проверки.

Результаты выбора выключателей высокого напряжения 110 кВ и 10 кВ (на примере вводных присоединений) для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-110/10 кВ СЭС группы цехов предприятия, представлены в таблице 7» [11].

Таблица 7 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения 110 кВ и 10 кВ (на примере вводных присоединений) для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-110/10 кВ СЭС группы цехов предприятия

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводы 1 и 2, выключатели модуля КРУЭ серии ЯГТ-110 (элегазовые)	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 112,6 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{\text{п.т}} \leq I_{\text{отк.ном}}$	$I_{\text{п.т}} = 1,26 \text{ кА.}$	$I_{\text{отк.ном}} = 80 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 2,42 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 4,76 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Вводы 1 и 2, выключатели КРУ 10 кВ: ВВУ–СЭЩ–10–20/1600 У3 (вакуумные)	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 1177,1 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А.}$
	$I_{\text{п.т}} \leq I_{\text{отк.ном}}$	$I_{\text{п.т}} = 19,57 \text{ кА.}$	$I_{\text{отк.ном}} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 36,84 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 19,57^2 \cdot 3 = 1149 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Результаты выбора новых разъединителей высокого напряжения 110 кВ (на примере вводных присоединений) представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора разъединителей 110 кВ (на примере вводных присоединений) для установки в КРУЭ- 110 кВ ГПП-110/10 кВ объекта проектирования

Наименование и место установки	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводы 1 и 2, разъединители модуля КРУЭ серии ЯГТ-110	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 112,6 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 1250 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 2,42 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 4,76 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с.}$

В ячейках КРУ напряжением 10 кВ роль разъединителей выполняют втычные контакты.

Для питания устройств вторичных цепей (измерения, учёт и контроль электроэнергии, релейная защита и автоматика и прочие) используются измерительные трансформаторы тока и напряжения. Их основной выбор осуществляется по потребляемой мощности в требуемом классе точности.

«Результаты выбора трансформаторов напряжения питающей ГПП-110/10 кВ объекта проектирования системы электроснабжения предприятия, представлены в таблице 9» [11].

Таблица 9 – Результаты выбора трансформаторов напряжения питающей ГПП-110/10 кВ объекта проектирования

Тип ТН	Кол-во ТН	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
ТН модуля КРУЭ серии ЯГТ-110	2	1,0	$\frac{110}{110}$	$\frac{1200,0}{\leq 1200,0}$
НАЛИ-СЭЩ-10	2	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{600,0}{\leq 600,0}$

«Результаты выбора трансформаторов тока питающей ГПП-110/10 кВ объекта проектирования СЭС предприятия, представлены в таблице 10» [11].

Таблица 10 – Результаты выбора трансформаторов тока питающей ГПП-110/10 кВ объекта проектирования

Тип ТТ	Кол-во ТН	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
ТТ модуля КРУЭ серии ЯГТ-110	2	1,0	$\frac{110}{110}$	$\frac{1200,0}{\leq 1200,0}$
ТОЛ-СЭЩ-10	2	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{60,0}{\leq 60,0}$

Для обеспечения безопасности и эффективности работы систем электроснабжения промышленных предприятий необходимо защищать оборудование от перенапряжений, которые могут быть вызваны как внешними, так и внутренними причинами. В этом контексте, для защиты питающей ГПП-110/10 кВ объекта проектирования, рекомендуется использовать современные ограничители перенапряжений.

На ГПП объекта проектирования для защиты от внешних (атмосферных) и внутренних (коммутационных) перенапряжений, ограничители перенапряжений устанавливаются на вводах воздушной линии электропередачи 110 кВ, а также в ячейках 10 кВ совместно с выбранными ранее вакуумными выключателями.

Установка ограничителей перенапряжений способствует увеличению надежности и продолжительности работы электрооборудования, снижению риска аварийных ситуаций и повышению общей эффективности систем электроснабжения. Кроме того, это позволяет снизить расходы на ремонт и обслуживание оборудования, а также минимизировать простои в производстве, вызванные отказами в электроснабжении.

В настоящее время практически все ограничители перенапряжений производятся с нелинейной характеристикой, которая обеспечивает гораздо более высокую эффективность защиты по сравнению с предыдущими разработками. Результаты выбора ОПН представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора ограничителей перенапряжения

Наименование и место установки	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводы 1 и 2 КРУЭ 110 кВ: нелинейные ОПН–РК–110/88	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 112,6 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 450 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 2,42 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин}} = 40,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,26^2 \cdot 3 = 4,76 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40,5^2 \cdot 3 = 4920,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
Вводы 1 и 2 КРУ 10кВ: ОПН-п 6/7.2/10/400	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 1177,1 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 400 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 36,84 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 19,57^2 \cdot 3 = 1149 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Всё выбранное оборудование подходит для установки на объекте.

Выводы по разделу.

Выбраны сечения проводников на объекте проектирования. Для ВЛ-110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ выбран и проверен современный провод марки АААС АЕРО-Z 177 АЗФ. Для распределительной сети (от ГПП-110/10 кВ до РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ) приняты силовые кабели марки ААБв-10.

Выбраны и укомплектованы новым современным оборудованием, распределительные устройства напряжением 110 кВ и 10 кВ питающей ГПП-110/10 кВ внешней СЭС группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток, приняты следующие решения:

- на стороне 110 кВ ГПП-110/10 кВ принято к установке КРУЭ серии ЯГТ-110, производства компании АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ»;
- на стороне 10 кВ выбрано для внедрения комплектное распределительное устройство закрытого типа с ячейками марки КРУ 2-10 К2-МУ производства ООО ПКП «Завод СЭА».

7 Выбор устройств и расчёт уставок релейной защиты силового трансформатора ГПП

Для защиты силового трансформатора питающей ГПП-110/10 кВ выбран терминал защиты серии БЭ2704 [17].

Терминал защиты серии БЭ2704 представляет собой современное устройство, предназначенное для защиты электрооборудования от различных видов повреждений и неисправностей.

Этот терминал обеспечивает надежную защиту от перенапряжений, коротких замыканий, перегрузок и других аварийных ситуаций в электросетях.

Терминал защиты серии БЭ2704 имеет модульную конструкцию и может быть легко настроен в соответствии с конкретными требованиями защиты.

Он оснащен различными типами защитных реле, таких как реле тока, реле напряжения, реле частоты и другими. Все эти реле могут быть сконфигурированы для защиты различных типов электрооборудования, таких как трансформаторы, генераторы, двигатели и другие.

Одно из ключевых преимуществ терминала защиты серии БЭ2704 заключается в его высокой точности и надежности.

Такой терминал включает наличие высококачественных датчиков и микроконтроллеров, которые обеспечивают точную обработку сигналов и быстрое реагирование на любые изменения в электросети. Это позволяет предотвратить любые повреждения электрооборудования и обеспечить бесперебойную работу электросети.

Терминал защиты серии БЭ2704 также имеет широкий диапазон применения. Он может быть установлен в электросетях различных типов и напряжений, от низковольтных до высоковольтных. Он подходит для использования в промышленных, коммерческих и жилых зданиях, а также в энергетических и транспортных системах.

Одно из основных преимуществ терминала защиты серии БЭ2704 заключается в его простоте установки и обслуживания. Он имеет компактные размеры и может быть легко установлен в любом месте электросети. Кроме того, он оснащен удобным интерфейсом для настройки и контроля, что позволяет легко управлять им и диагностировать любые неисправности.

Таким образом, терминал защиты серии БЭ2704 является идеальным решением для защиты силового трансформатора на объекте проектирования от основных видов повреждений и неисправностей [17].

Проводится расчёт уставок защит трансформатора с применением выбранного терминала защиты серии БЭ2704.

Первичный ток небаланса дифференциальной защиты трансформатора (ДЗТ) обусловлен только погрешностью работы трансформаторов тока и наличием устройства регулирования напряжения и определяется по выражению [1]:

$$I_{\text{нб.}} = I'_{\text{нб.}} + I''_{\text{нб.}} = (k_a \cdot k_{\text{одн.}} \cdot \varepsilon + \Delta U_{\text{рег.}}) \cdot I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (34)$$

где ε - относительная токовая погрешность измерительных трансформаторов тока, принимается равной 0,1;

$\Delta U_{\text{рег.}}$ - половина суммарного диапазона регулирования напряжения на стороне ВН.

По условию (34) с учётом максимального значения тока КЗ на шинах источника питания энергосистемы на напряжении 110 кВ:

$$I_{\text{нб.}} = (1 \cdot 0,1 + 0,05) \cdot 10600 = 1590 \text{ А.}$$

Ток срабатывания ДЗТ [1]:

$$I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{отс.}} \cdot I_{\text{нб.}}, \text{ А,} \quad (35)$$

где $K_{отс.}$ – коэффициент отстройки для ДЗТ [1].

$$I_{с.3} \geq 1,3 \cdot 1590 = 2067 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности ДЗТ [1]:

$$K_{ч} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{с.3}} \geq 1,5. \quad (36)$$

Коэффициент чувствительности ДЗТ удовлетворяет требованиям [1]:

$$K_{ч.ВН} = \frac{1}{1} \cdot \frac{10600}{2067} \approx 5,12 > 1,5.$$

$$K_{ч.НН} = \frac{1}{1} \cdot \frac{4800}{2067} \approx 2,32 > 1,5.$$

Расчёт уставки «защиты от перегрузки трансформаторов» [1]:

$$I_{с.3} \geq K_{н} \cdot I_{раб.макс.ВН}, \quad (37)$$

где $K_{н}$ – «коэффициент надёжности» [1].

«Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформаторов» [1]:

$$I_{с.3} \geq 1,05 \cdot 112,6 \approx 118,2 \text{ А.}$$

Условие выбора уставки МТЗ трансформатора» [1]:

$$I_{с.3} \geq K_{отс} \cdot K_{сзп} \cdot I_{раб.макс}, \quad (38)$$

где $K_{отс}$ - «коэффициент отстройки» [1];

$K_{сзп}$ - «коэффициент самозапуска» [1].

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [1]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\text{к})}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}^{(\text{к})}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,2. \quad (39)$$

«Для комплекта МТЗ на стороне ВН (110 кВ)» [1]:

$$I_{\text{с.з}} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 112,6 \approx 198,2 \text{ А.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{10600}{198,2} \approx 53,5 > 1,2.$$

Аналогично рассчитаны уставки МТЗ на сторонах СН и НН трансформатора с приведением результатов в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты расчёта уставок МТЗ терминала защиты серии БЭ2704 трансформатора питающей ГПП-110/10 кВ

Сторона трансформатора	$I_{\text{раб.макс}}$, А	$I_{\text{с.з}}$, А	$t_{\text{с.з}}$, с
ВН (110 кВ)	112,6	198,2	0,5
НН (10 кВ)	1177,1	2071,7	1,0

Для газовой защиты бака и РПН трансформатора выбирается газовое реле марки РГЧЗ-66.

Выводы по разделу.

Для защиты силового трансформатора питающей ГПП-110/10 кВ выбран терминал защиты серии БЭ2704, для которого рассчитаны уставки и определены параметры срабатывания основных защит.

Заключение

В работе осуществлена разработка мероприятий по проектированию группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток, с разработкой и последовательной проверкой основных принятых решений.

В результате проведения анализа исходных данных на проектирование, а также существующих технических условий, разработаны и предложены следующие рекомендации по дальнейшему проектированию системы электроснабжения группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток:

- проектируемую электрическую сеть предприятия предложено запитать от РУ-10 кВ собственной главной понизительной подстанции (ГПП), что будет способствовать минимизации потерь электроэнергии, а также значительную экономию средств;
- так как в проектируемую систему электроснабжения предприятия входят восемь производственных цехов (укрупнённых модулей), относящихся ко 2 категории надёжности, следовательно, их необходимо обеспечить питанием от шин заводской ГПП, схему и мощность которой выбрать в работе далее;
- питание всех производственных объектов, относящихся к 1 и 2 категориям надёжности, на всех уровнях СЭС необходимо осуществлять по двум линиям с резервированием с помощью сети цеховых ТП-6(10)/0,4 кВ;
- для обеспечения условий надёжности, на всех уровнях СЭС необходимо применять автоматическое резервирование и секционирование;
- для питания конечных потребителей объекта проектирования предлагается использовать кабельные линии 10 кВ и 0,4 кВ (по условиям безопасности).

Исходя из норм проектирования и исходных технических данных, в качестве источника питания объекта проектирования принимается главная понизительная подстанция (ГПП), на которой приняты следующие классы напряжения (РУ ГПП):

- 110 кВ (РУ ВН);
- 10 кВ (РУ НН).

Выбраны схемные решения на объекте проектирования.

На стороне 110 кВ ГПП-110/10 кВ принята схема 110 – 5Н «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий».

На стороне 10 кВ принята типовая схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин».

От шин РУ 10 кВ ГПП-110/10 кВ планируется запитать восемь понизительных цеховых подстанций на напряжении 10 кВ, которые преобразуют напряжение 10 кВ в напряжение 0,38/0,22 кВ для распределения по отдельным потребителям группы новых производственных цехов судостроительного предприятия АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток. Причём все цеховые ТП-10/0,4 кВ планируется выполнить двухтрансформаторными, так как все объекты относятся к 1 или 2 категории надёжности, требующих двух независимых источников питания.

Отдельных высоковольтных потребителей в системе электроснабжения объекта проектирования не предусмотрено, поэтому все нагрузки будут запитаны через цеховые ТП на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Таким образом, все схемные решения в работе подтверждены и приняты окончательно.

Проведён расчёт электрических нагрузок участков и всего объекта проектирования.

Выбраны и проверены число, мощности и типономиналы силовых трансформаторов проектируемой системы электроснабжения группы цехов АО ВП «ЭРА» в городе Владивосток.

Для установки на питающей ГПП-110/10 кВ объекта проектирования обосновано использование двух силовых трансформаторов марки ТДН-16000/110.

Для питания нагрузки на стороне 0,38/0,22 кВ, выбраны и проверены восемь двухтрансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ с трансформаторами марки ТМГ.

В работе получены результаты расчёта нагрузок участков электрической сети в расчётных точках КЗ и всего объекта проектирования в целом. Проведён расчёт токов трёхфазного короткого замыкания на шинах питающей ГПП-110/10/10 кВ в максимальном и минимальном режимах работы, обусловленных соответствующими положениями устройства РПН силового трансформатора данной подстанции.

Выбраны сечения проводников на объекте проектирования. Для ВЛ-110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ выбран и проверен современный провод марки АААС АЕРО-Z 177 А3F, а для сети 10 кВ – кабели марки ААБв-10.

Выбраны и укомплектованы новым современным оборудованием, распределительные устройства питающей ГПП:

- на стороне 110 кВ ГПП-110/10 кВ принято к установке КРУЭ серии ЯГТ-110, производства компании АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ»;
- на стороне 10 кВ выбрано для внедрения комплектное распределительное устройство закрытого типа с ячейками марки КРУ 2-10 К2-МУ производства ООО ПКП «Завод СЭА».

Для защиты силового трансформатора питающей ГПП-110/10 кВ выбран терминал защиты серии БЭ2704, который отличается высокой надёжностью, точностью, быстродействием и эффективностью в обеспечении безопасности. Его преимущества включают в себя интегрированные технологии защиты, способные оперативно реагировать на различные угрозы.

Для указанного терминала защиты серии БЭ2704 рассчитаны уставки и определены параметры срабатывания основных защит.

Результаты работы предлагается принять к сведению.

Список используемых источников

1. Агафонов А.И., Бростилова Т. Ю., Джазовский Н. Б. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 300 с.
2. АО ВО «ЭЛЕКТРОАППАРАТ» КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕГАЗОВЫЕ (КРУЭ). [Электронный ресурс]: URL: <https://elektroapparat.ru/upload/iblock/ca1/ca12d9fcae4a5c3bbc248659232842a6.pdf> (дата обращения: 21.03.2024).
3. АО ВП «ЭРА». Основные показатели. [Электронный ресурс]: URL: <https://sbis.ru/contragents/2504000733/253601001> (дата обращения: 21.03.2024).
4. АО ВП «ЭРА». Электромонтажное и электромеханическое производство, проектирование и изготовление электrorаспределительных устройств. [Электронный ресурс]: URL: <https://eravlad.ru/> (дата обращения: 01.03.2024).
5. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 21.03.2024).
6. Каталог. Кабели силовые. [Электронный ресурс]: URL: <https://k-aps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/> (дата обращения: 21.03.2024).
7. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
8. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
9. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.

11. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
12. Провод АААС АЕРО-Z 177 АЗФ. [Электронный ресурс]: URL: <https://atomdv.com/catalog/product/54981/> (дата обращения: 21.03.2024).
13. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 21.03.2024).
14. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.
15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.
16. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.
17. ТЕРМИНАЛЫ СЕРИИ БЭ2704. [Электронный ресурс]: URL: https://k-energo.com/documents/rukovodstva/be2704/РЭ%20БЭ2704_300.pdf (дата обращения: 21.03.2024).
18. ТОКОВЫЕ НАГРУЗКИ НА КАБЕЛИ И ПРОВОДА. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.ruscable.ru/info/cable/sprav-toknagr.html> (дата обращения: 21.03.2024).
19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.
20. Ячейка КРУ 2-10 К2-МУ. [Электронный ресурс]: URL: <https://zsea.ru/katalog/yachejki-kru-6-10-kv/yachejki-kru2-10/shkaf-kru-2-10-ispolnenie/> (дата обращения: 21.03.2024).