

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 Реконструкция ОРУ-220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Обучающийся

В. А. Митибаев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доц. А. Г. Сорокин

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

Тольятти 2023

Аннотация

В работе проведена модернизация оборудования и реконструкция схемы главных электрических соединений нормального режима открытого распределительного устройства 220 кВ (далее – ОРУ-220 кВ) на Хабаровской ТЭЦ-3 (далее – «ХТЭЦ-3»). В связи со значительным износом основного электрооборудования ОРУ 220 кВ электрической станции (теплоэлектроцентрали) «ХТЭЦ-3», проведена его замена на современные модели инновационного оборудования соответствующих типов.

Для решения поставленных задач, проведён анализ работы электрической станции «ХТЭЦ-3», описана исходная схема ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3», а также проведён анализ основного оборудования исходной схемы электрических соединений объекта исследования.

На основе результатов проведённого анализа, выявлены проблемы в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3», связанные с необходимостью модернизации основного оборудования и реконструкции схемы электрических соединений, и предложены пути их решения.

Проведены выбор и проверка силовых трансформаторов электрической станции «ХТЭЦ-3», выбраны трансформаторы собственных нужд станции, рассчитаны максимальные рабочие токи основного оборудования.

Выбраны новые электрические аппараты для установки в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3», которые применяются в результате проведения модернизации на объекте.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по модернизации электрооборудования и реконструкции схемы электрических соединений ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3».

Пояснительная записка ВКР содержит 58 страниц, 4 рисунка и 13 таблиц. В работе использовано 20 источников литературы.

Графическая часть работы представлена на шести листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных технических данных по объекту проектирования.....	7
1.1 Назначение и характеристика электростанции в энергосистеме	7
1.2 Анализ требований к распределительным устройствам электрических станций и подстанций.....	10
1.3 Характеристика распределительного устройства 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.....	13
1.4 Разработка рекомендаций по реконструкции объекта	17
2 Проверка трансформаторов Хабаровской ТЭЦ-3.....	21
2.1 Проверка силовых трансформаторов Хабаровской ТЭЦ-3	21
2.2 Проверочный расчёт трансформаторов собственных нужд ХТЭЦ-3..	25
3 Выбор основного оборудования ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3	28
3.1 Расчёт максимальных рабочих токов основного электрооборудования ОРУ 220 кВ	28
3.2 Расчёт токов короткого замыкания	30
3.3 Выбор проводников в ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.....	38
3.4 Выбор и проверка электрических аппаратов для установки в ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.....	43
Заключение	52
Список используемых источников.....	56

Введение

Известно, что развитие энергетической системы стран является одним из основных критериев экономического и технического развития потенциала.

С развитием промышленности увеличиваются потребляемые мощности, растут нагрузки потребителей, что сказывается на генерации, передаче и потреблении электрической энергии.

Такая связь является важнейшей составляющей современного научно-технического прогресса.

Фактически, распределительные устройства (далее – РУ) современных трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы всех типов, являются важнейшими элементами, обеспечивая приём и распределение электроэнергии согласно схеме нормальных электрических соединений, а также коммутацию и защиту электрической сети.

Основными составляющими распределительных устройств являются электрические аппараты, именно благодаря их слаженной работе в РУ обеспечиваются условия надёжности, электробезопасности, быстродействия и селективности (избирательности).

Известно, что такими показателями обладают современные разработки электрических аппаратов, активно внедряющихся в последнее время для применения в РУ всех типов и классов напряжения.

Таким образом, установлено, что применение современных электрических аппаратов в РУ всех типов создаёт необходимые условия для обеспечения нормальной и надёжной работоспособности не только самого РУ, но и всей электрической сети в целом.

Поэтому модернизация и реконструкция РУ современных трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы всех типов является актуальным заданием современной электроэнергетики. Данный аспект обуславливает актуальность этой работы.

Основной целью данной работы является реконструкция схемы

электрических соединений с внедрением мероприятий по модернизации основного оборудования ОРУ 220 кВ третьей Хабаровской теплоэлектростанции (далее – Хабаровской ТЭЦ-3 или «ХТЭЦ-3»), которая осуществляется путём замены некоторых электрических аппаратов, морально и технически устаревших, на современные марки и модели, обладающие высокими критериями надёжности, экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), электробезопасности и прочими аналогичными показателями.

Объектом исследования в работе является схема электрических соединений нормального режима ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.

Предметом исследования являются схема электрических соединений, а также электрооборудование напряжением 220 кВ рассматриваемой в работе схемы электрических соединений ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.

Для решения поставленных задач, проведён анализ работы электрической станции «ХТЭЦ-3», описана исходная схема ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3», а также проведён анализ основного оборудования исходной схемы электрических соединений объекта исследования.

На основе результатов проведённого анализа, выявлены проблемы в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3», связанные с необходимостью реконструкции схемы электрических соединений и модернизации основного оборудования.

На основании теоретических и исходных данных, в работе предложены пути решения поставленных задач.

Выбраны новые электрические аппараты для установки в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3», которые применяются в результате проведения модернизации на объекте.

Аргументированный выбор нового оборудования основан на анализе современных разработок и моделей электрических аппаратов ведущих мировых и отечественных производителей.

Проверка всего оборудования основывается на результатах расчёта электрических нагрузок и токах короткого замыкания в максимальном режиме работы, и проводится на предмет электромеханической совместимости и прочности в аварийных режимах.

Проведены выбор и проверка силовых трансформаторов электрической станции «ХТЭЦ-3», выбраны трансформаторы собственных нужд станции, рассчитаны максимальные рабочие токи основного оборудования.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений и модернизации электрооборудования в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3».

При выполнении работы, должны быть учтены соответствие принятых решений, следующим действующим нормам и положениям:

- строительным нормам и положениям;
- технологическим нормам и положениям, предусматривающим мероприятия, обеспечивающие конструктивную надежность;
- нормам по взрывоопасности и пожарной безопасности объекта;
- нормам и положениям по электробезопасности;
- нормам и положениям по защите населения и устойчивой работе объекта в чрезвычайных ситуациях, а также требованиям по защите окружающей природной среды при её эксплуатации.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима открытого распределительного устройства напряжением 220 кВ на Хабаровской ТЭЦ-3.

1 Анализ исходных технических данных по объекту проектирования

1.1 Назначение и характеристика электростанции в энергосистеме

Хабаровская ТЭЦ-3 является самой «молодой» электростанцией г. Хабаровска.

Она была введена в эксплуатацию в 1985 году с основной целью: обеспечение тепловой энергией жилых и промышленных потребителей города Хабаровска, а также прочих субъектов и объектов Хабаровского края.

Хабаровской ТЭЦ-3 сегодня является крупнейшей электростанцией в Хабаровском крае и одной из крупнейших на Дальнем Востоке.

По состоянию на 2023 год суммарная установленная электрическая активная мощность Хабаровской ТЭЦ-3 составляет 720 МВт (четыре энергоблока по 180 МВт каждый).

Основным топливным ресурсом для Хабаровской ТЭЦ-3 служит смесь бурых и каменных углей, мазут, а также природный газ Сахалинского газового месторождения (для четвертого энергоблока «ХТЭЦ-3»). Таким образом, на «ХТЭЦ-3» применяется комбинированный топливный ресурс.

За время своего существования Хабаровская ТЭЦ-3 претерпела множество реконструкций, модернизаций и расширений. В результате этого, производился целенаправленный перевод котлоагрегатов Хабаровской ТЭЦ-3 на природный газ, была модернизирована система теплофикации, была начата реконструкция распределительных устройств переменного тока, которая продолжается до сих пор.

При этом большая часть электрооборудования Хабаровской ТЭЦ-3 отработала по два срока службы, что часто приводит к отказам в его работе и, как результат, к существенному снижению показателей надёжности всей системы.

Структурная схема рассматриваемой в работе Хабаровской ТЭЦ-3 представлена на рисунке 1.

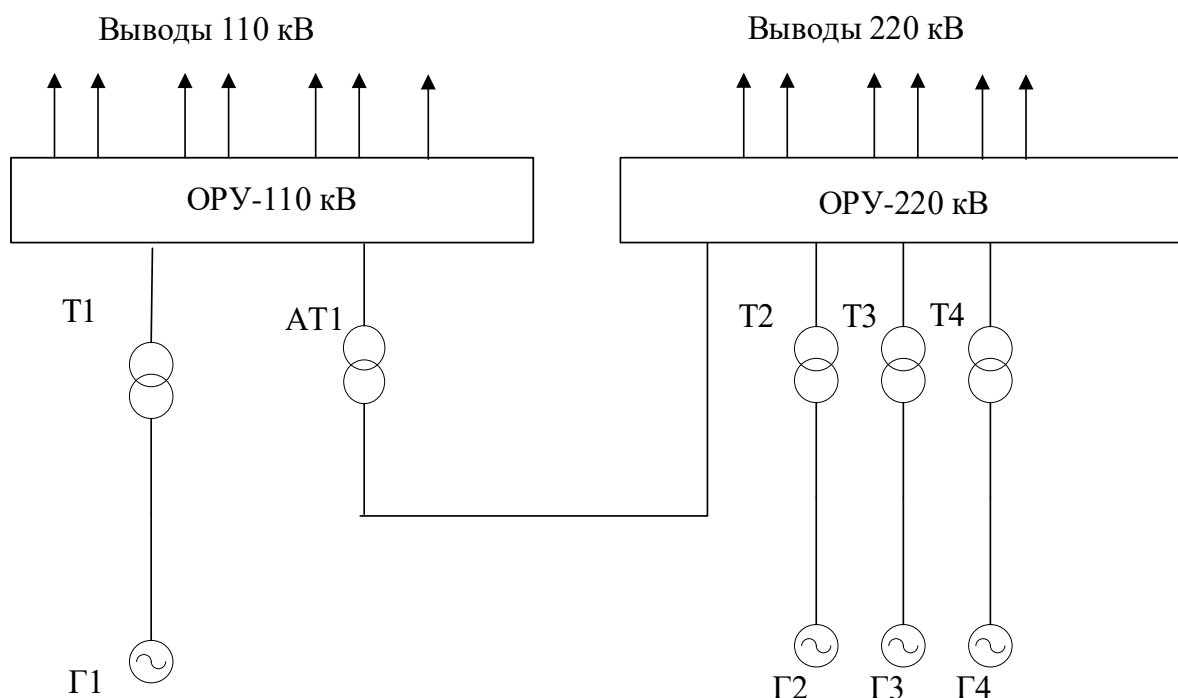


Рисунок 1 – Структурная схема Хабаровской ТЭЦ-3

Таким образом, на основе результатов проведённого анализа, установлено, что в структурной схеме Хабаровской ТЭЦ-3 находятся следующие основные элементы (рисунок 1):

- четыре блока «генератор-трансформатор», включающих в себя генераторы и повышающие трансформаторы (блочные трансформаторы), образующие следующие энергоблоки к ОРУ 110 кВ: Г1-Т1 (ТДЦ 250000/110), а также блоки к ОРУ 220 кВ: Г2-Т2 (трансформатор типа ТДЦ 250000/220), Г3-Т3 (трансформатор типа ТДЦ 250000/220), Г4-Т4 (трансформатор типа ТДЦ 250000/220);
- автотрансформатор связи между ОРУ 110 кВ и ОРУ 220 кВ (АТ-1 типа АТДЦТН 200000/220/110);
- ОРУ 110 кВ;
- ОРУ 220 кВ;
- отходящие линии (выводы) потребителей (от ОРУ 110 кВ – семь линий, от ОРУ 220 кВ – шесть линий).

Также в схеме «ХТЭЦ-3» есть трансформаторы собственных нужд (на рисунке 1 не показаны, подробно показаны на графическом листе 1): основные – ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1,ТСР-2), ТРДНС 32000/17,5 (ТРС-3, ТСП-4), а также резервный трансформатор собственных нужд в ОРУ 110 кВ марки ТРДН 40000/110 (РТСП).

Далее проводится описание и характеристики генерирующего оборудования Хабаровской ТЭЦ-3. На Хабаровской ТЭЦ-3 по состоянию на 2023 год находится четыре генератора, три из которых в настоящее время находятся в работе, а один – в резерве (генератор Г-4). Все генераторы – турбогенераторы типа ТГВ-200-2М. Технические данные турбогенераторов, установленных на Хабаровской ТЭЦ-3 по состоянию на 2023 год, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные турбогенераторов Хабаровской ТЭЦ-3

Наименование параметра	Единицы измерения	Величина	
		Г-1,2	Г-3,4
Мощность	кВА	247000	258000
	кВт	210000	220000
Коэффициент мощности	-	0,85	
Частота вращения	об/мин	3000	
Частота сети	Гц	50	
Число фаз	шт.	3	
Коэффициент полезного действия	%	98,6	
Напряжение статора	В	15750	
Соединение фаз	-	«звезда»	
Ток статора	А	9060	9490
Ток ротора	А	1945	2015
Напряжение возбуждения	В	425	450

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что на Хабаровской ТЭЦ-3 электроэнергия вырабатывается на номинальных генераторных напряжениях 15,75 кВ (Г1 – Г4), а также происходит отпуск электроэнергии потребителям на напряжениях 110 кВ и 220 кВ.

Электрическая связь между всеми основными элементами рассмотренной структурной схемы Хабаровской ТЭЦ осуществляется с помощью силовых блочных трансформаторов и автотрансформатора связи.

1.2 Анализ требований к распределительным устройствам электрических станций и подстанций

Распределительные устройства трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы, являются важнейшим звеном и относятся, как правило, к I и II категориям по надёжности электроснабжения по принадлежности к потребителям, которых они питают [17].

Поэтому они требуют двух источников питания, а также необходимого уровня автоматизации и резервирования на всех звеньях цепи.

Как известно, данному типу систем электроснабжения характерны следующие основные принципы построения:

- 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).

Следовательно, в распределительных устройствах трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы должна быть предусмотрена отдельная система (подсистема) электроснабжения для питания отдельно каждого вида потребителей на переменном напряжении промышленной частоты 50 Гц [6].

Такая система будет удовлетворять всем требованиям нормативных документов с учётом питания разноимённых потребителей, относящихся к I и II категориям надёжности [7].

Данное требование также распространяется и на ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, рассматриваемую в работе.

Известно, что основные нормы и требования, которые предъявляются проектированию распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований [11]:

- надёжности отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;
- экономичности при приёме и передаче электроэнергии на всех звеньях цепи;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ в распределительных устройствах трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы;
- возможности модернизации и расширения распределительных устройств;
- удобства монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы;
- применения передовых технологий в сфере разработки оборудования, а также схемных решений;
- применения негабаритных конструкций;
- обеспечения постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы;
- применения качественного и достаточного аппарата автоматизации всех процессов;
- соблюдения и контроля параметров электроэнергии, передаваемой потребителям на всех уровнях;
- возможности локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или

- значительными потерями электроэнергии;
- контроля перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы электрических соединений распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы;
 - обеспечения ограничения ненормальных режимов работы электрооборудования;
 - обеспечение экономичности при передаче электроэнергии, а также при ремонте, обслуживании и модернизации оборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы.

Далее кратко приводится основная характеристика наиболее важных требований, перечисленных выше.

Известно, что в системах электроснабжения распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы должна быть обеспечена надёжные условия для коммутации и защиты как отдельных звеньев цепи, так и всем объекте в целом [4].

Для этой цели используют как отключающую коммутационную аппаратуру, так и отдельные устройства релейной защиты и автоматики, выполняющие роль сигнализатора повреждений [4].

Поэтому все электрические аппараты распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы должны быть выбраны по расчётной нагрузке с учётом резервирования и проверены по максимальным токам короткого замыкания на предмет электромеханической совместимости и прочности в аварийных режимах [5].

Также для выбора электрооборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы рекомендовано использовать фактические показания максимальной нагрузки с целью уменьшения погрешности расчётов.

Кроме того, к установке в распределительных устройствах трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы в последние

годы рекомендованы новейшие разработки коммутационной и защитной аппаратуры, имеющие повышенные показатели надёжности, экономичности, запаса ресурса и безопасности.

Все приведённые требования применимы к ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, детально рассматриваемой в работе.

Они должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций по реконструкции и модернизации данного объекта.

1.3 Характеристика распределительного устройства 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Проводится анализ основного оборудования, установленного в ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3».

Описание схемы ОРУ 220 кВ подстанции будет проведено в работе далее.

ОРУ 220 Хабаровской ТЭЦ-3 выполнено с использованием схемы «две системы сборных шин, секционированной выключателем, с применением одиночной обходной системы шин».

Рассматриваемое в работе ОРУ 220 Хабаровской ТЭЦ-3 получает питание через повышающие трансформаторы связи от генераторов Г2-Г4 Хабаровской ТЭЦ-3 (рисунок 1).

От ОРУ 220 получают питание крупные промышленные потребители г. Хабаровска и района, с последующей трансформацией напряжения (в работе не рассматривается).

Рассматриваемое в работе ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 представляет собой открытое распределительное устройство, расположенное на территории Хабаровской ТЭЦ-3.

Также ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 связано с ОРУ 110 объекта автотрансформатором связи (обозначен АТ1 на рисунке 1.1), через который осуществляются перетоки мощности (в случае необходимости).

Таким образом, в результате проведения анализа оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 было установлено, что на объекте исследования на сегодняшний день находятся некоторые устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты, которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок.

Установлено, что в схеме ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 используются устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс, к ним относятся:

- устаревшие и изношенные выключатели высокого напряжения типа ВМТ-220Б-20/1000 с приводом ППК-1800;
- устаревшие и изношенные разъединители РДЗ-2-220/1000 УХЛ1.

Данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования.

Следовательно, решение данного вопроса на сегодняшний день носит актуальный характер.

Предлагается в работе заменить их на новые, современные модификации, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью.

Такая замена будет иметь значительный технико-экономический эффект, так как позволит предотвратить возникновение аварий оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, а в случае возникновения – быстро их локализовать, значительно снизить денежные затраты на монтаж, обслуживание и ремонт нового оборудования, так как практически на все новейшие модификации завод-изготовитель даёт расширенную гарантию не менее 15-20 лет.

В итоге значительно снизится перерыв в электроснабжении потребителей ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, что также принесёт эффект как технический, так и экономический.

Предложенная модернизация обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

Следовательно, мероприятие по замене устаревшего оборудования в электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 является актуальным и обоснованным.

При этом модернизация оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 проводится без изменений в схеме электрических соединений объекта.

На основании приведённой технической характеристики объекта с использованием его структурной схемы, а также схемы главных электрических соединений Хабаровской ТЭЦ-3, далее в работе проводится решение основных поставленных задач.

Исходная схема электрических соединений Хабаровской ТЭЦ-3 до проведения её реконструкции схемы первичных соединений ОРУ-220 кВ и модернизации оборудования, приведена в работе на графическом листе 1.

Далее в работе приводится исходная характеристика схемы электрических соединений нормального режима распределительного устройства ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края.

Рассматриваемое в работе ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 представляет собой открытое распределительное устройство, расположенное на территории Хабаровской ТЭЦ-3.

Данное ОРУ 220 Хабаровской ТЭЦ-3 получает питание электроэнергией через повышающие трансформаторы связи от генераторов Г2-Г4 Хабаровской ТЭЦ-3 (рисунок 1).

Также ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 связано с ОРУ 110 объекта автотрансформатором связи (обозначен АТ1 на рисунке 1), через который осуществляются перетоки мощности (в случае необходимости).

В ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края применяется схема «Две рабочих системы сборных шин, секционируемых выключателем, с применением обходной системы сборных шин».

Такая схема надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов.

Каждое присоединение одновременно может быть запитано от одной из трёх секций сборных шин ОРУ 220 кВ: первой (1СШ-220), второй (2СШ-220) или обходной систем сборных шин (ОСШ-220).

На каждое присоединение в схеме приходится один выключатель и три разъединителя (поэтому иногда такую схему называют «1/3»)

Обходная система сборных шин в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края применяется для ремонта одной из рабочих секций сборных шин, без отключения потребителей.

Также такая схема сборных шин ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края используется при транзите мощности, позволяя контролировать и распределять электроэнергию по требуемым направлениям (в случае необходимости).

В исходной схеме электрических соединений ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, установлено следующее основное силовое оборудование, показанное на графическом листе 1.

Ранее в работе установлено, что выключатели и разъединители, установленные в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, устаревшие и нуждаются в модернизации путём их замены на современные разработки соответствующего оборудования.

От ОРУ 220 получают питание крупные промышленные потребители г. Хабаровска и района, с последующей трансформацией напряжения (в работе детально не рассматриваются).

К таким линиям относятся следующие воздушные распределительные линии потребителей 220 кВ:

- ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223);
- ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 II цепь с отпайкой на ПС НПС-34 (Л-224);
- ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – РЦ (Л-221);
- КВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Амур (Л-222);
- ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 с отпайкой на ПС НПС-34;
- ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3- Восток.

Исходная схема электрических соединений ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края до проведения модернизации оборудования, с указанием марок данного оборудования, приведена в графической части работы. На основании приведённой исходной технической информации и характеристики основного оборудования подстанции, далее в работе проводится решение основных задач.

1.4 Разработка рекомендаций по реконструкции объекта

В результате проведения анализа оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 было установлено, что на объекте исследования на сегодняшний день находятся некоторые устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты, которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок. Установлено, что в схеме ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 используются устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс:

- устаревшие и изношенные выключатели высокого напряжения типа ВМТ-220Б-20/1000 с приводом ППК-1800;
- устаревшие и изношенные разъединители РДЗ-2-220/1000 УХЛ1.

Данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования. Следовательно, решение данного вопроса на сегодняшний день носит актуальный характер.

Предлагается в работе заменить их на новые, современные модификации, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью.

Такая замена будет иметь значительный технико-экономический эффект, так как позволит предотвратить возникновение аварий оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, а в случае возникновения – быстро их локализовать, значительно снизить денежные затраты на монтаж, обслуживание и ремонт нового оборудования, так как практически на все новейшие модификации завод-изготовитель даёт расширенную гарантию не менее 15-20 лет. В итоге значительно снизится перерыв в электроснабжении потребителей ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, что также принесёт эффект как технический, так и экономический.

Предложенная модернизация обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования. Следовательно, мероприятие по замене устаревшего оборудования в электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 является актуальным и обоснованным.

При этом модернизация оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 проводится с учётом изменений в схеме электрических соединений объекта, заключающиеся во вводе в работу четвёртого энергоблока «генератор – блочный трансформатор», с целью увеличения мощностей в отопительный сезон и повышения надёжности схемы ОРУ 220 кВ путём применения дополнительного источника питания в условиях данной

схемы электрических соединений. Таким образом, установлено, что в исходной схеме электрических соединений ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3» необходимо провести комплексную реконструкцию данного объекта, заключающаяся, с одной стороны, во внесении изменений в исходную схему объекта, а с другой стороны – провести модернизацию некоторого основного оборудования данного объекта. Указанные рекомендации по реконструкции схемы и модернизации оборудования ОРУ-220 кВ «ХТЭЦ-3» проверяются в работе далее расчётно-аналитическим способом.

Выводы по разделу.

В работе было приведено описание, а также последующий анализ исходной схемы электрических соединений Хабаровской ТЭЦ-3. Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима и основному оборудованию ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3». В результате проведения анализа оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 было установлено, что на объекте исследования на сегодняшний день находятся некоторые устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты, которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок. Установлено, что в схеме ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 используются устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс, к ним относятся:

- устаревшие и изношенные выключатели высокого напряжения типа ВМТ-220Б-20/1000 с приводом ППК-1800;
- устаревшие и изношенные разъединители РДЗ-2-220/1000 УХЛ1.

Установлено, что данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования. Такая модернизация будет иметь значительный технико-экономический эффект, так как позволит предотвратить возникновение аварий оборудования электрической части ОРУ

220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, а в случае возникновения – быстро их локализовать, значительно снизить денежные затраты на монтаж, обслуживание и ремонт нового оборудования, так как практически на все новейшие модификации завод-изготовитель даёт расширенную гарантию не менее 15-20 лет. В итоге значительно снизится перерыв в электроснабжении потребителей ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, что также принесёт эффект как технический, так и экономический.

Предложенная модернизация обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования. Следовательно, мероприятие по замене устаревшего оборудования в электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 является актуальным и обоснованным.

При этом модернизация оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 проводится с учётом изменений в схеме электрических соединений объекта, заключающиеся во вводе в работу четвёртого энергоблока «генератор – блочный трансформатор», с целью увеличения мощностей в отопительный сезон и повышения надёжности схемы ОРУ 220 кВ путём применения дополнительного источника питания в условиях данной схемы электрических соединений. Таким образом, установлено, что в исходной схеме электрических соединений ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3» необходимо провести комплексную реконструкцию данного объекта, заключающаяся, с одной стороны, во внесении изменений в исходную схему объекта, а с другой стороны – провести модернизацию некоторого основного оборудования данного объекта.

Указанные рекомендации по реконструкции схемы и модернизации оборудования ОРУ-220 кВ «ХТЭЦ-3» проверяются в работе далее расчётно-аналитическим способом.

2 Проверка трансформаторов Хабаровской ТЭЦ-3

2.1 Проверка силовых трансформаторов Хабаровской ТЭЦ-3

Далее в работе, для достижения поставленной цели необходимо проверить силовые трансформаторы, установленные на Хабаровской ТЭЦ-3, с учётом изменений, внесённых в схему ОРУ 220 кВ данного объекта.

Проводится проверочный выбор основных силовых трансформаторов, установленных на электрической станции «ХТЭЦ-3».

В работе выбору и проверке подлежат блочные трансформаторы и автотрансформатор связи 220/110 кВ.

Установлено, что на Хабаровской ТЭЦ-3 находятся следующие основные блочные трансформаторы и автотрансформатор связи 220/110 кВ, которые нуждаются в проверке на систематические и аварийные перегрузки:

- четыре блочных повышающих трансформатора: Т1 (трансформатор типа ТДЦ 250000/110), Т2 (трансформатор типа ТДЦ 250000/220), Т3 (трансформатор типа ТДЦ 250000/220), Т4 (трансформатор типа ТДЦ 250000/220);
- автотрансформатор связи между ОРУ 110 кВ и ОРУ 220 кВ (АТ-1 типа АТДЦТН 200000/220/110).

Предварительная проверка правильности выбора силовых трансформаторов электрической станции «ХТЭЦ-3», исходя из значения максимальной нагрузки каждого из перечисленных трансформаторов.

Известно, что систематические перегрузки не ведут к сокращению срока службы изоляции трансформатора, допустимы в течении всего срока службы, следовательно, могут быть отнесены к нормальному режиму работы.

Они могут иметь место при неравномерном суточном графике нагрузки трансформатора или в условиях изменяющейся температуры охлаждающей среды при постоянной нагрузке.

В виду отсутствия суточных графиков нагрузки, выбор и проверка

основных трансформаторов электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, проводится расчётным путём.

Основанием для расчёта являются максимальные мощности нагрузки «ХТЭЦ-3» (по техническим данным энергосистемы).

Расчётная мощность силового блочного трансформатора (автотрансформатора связи) для установки на электростанции, определяется по известной формуле [12]:

$$S_{\text{ном.т.р.}} = \frac{S_m}{2 \cdot 0,7}, \text{MBA}, \quad (1)$$

где S_m – полная нагрузка силового трансформатора или автотрансформатора (по данным энергосистемы).

Проводится проверка правильности выбора на примере блочного повышающего трансформатора Т1 (трансформатор типа ТДЦ 250000/110).

По условию (1) для блочного повышающего трансформатора Т1 электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края:

$$S_{\text{ном.т.р.}} = \frac{278}{2 \cdot 0,7} \approx 198,63 \text{MBA}.$$

При проверке проводится сравнение номинальной мощности силового трансформатора и полученного значения расчётной мощности трансформатора электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края:

$$S_{\text{ном.т.}} \geq S_{\text{ном.т.р.}}, \text{MBA}, \quad (2)$$

Соответственно, исходя из полученных результатов расчёта, установлено, что стандартная (паспортная) мощность блочного повышающего трансформатора Т1 электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края,

равная 250 МВА, проходит проверку по установленной нагрузочной способности:

$$S_{ном.т} = 250 \text{ МВА} \geq S_{ном.т.р} = 198,63 \text{ МВА}.$$

Далее в работе проводится проверка силовых трансформаторов (автотрансформаторов) на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы [8].

Коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме его работы:

$$K_{з.н} = \frac{S_m}{2 \cdot S_{т.ном}} \leq 0,7. \quad (3)$$

Для блочного повышающего трансформатора Т1 по условию (3) проверка выполняется:

$$K_{з.н} = \frac{278}{2 \cdot 250} = 0,56 \leq 0,7.$$

При таком выборе в аварийном режиме оставшийся в работе трансформатор (автотрансформатор) должен обеспечить нормальное электроснабжение всех потребителей, перегружаясь при этом не более чем на 40 %.

Такая перегрузка допустима для трансформаторов в течение 6 часов в сутки не более 5 суток подряд.

Коэффициент загрузки трансформаторов в послеаварийном режиме (в работе остаётся один трансформатор):

$$K_{3.П} = \frac{S_m}{S_{T.НОМ}} \leq 1,4. \quad (4)$$

По условию (4) проверка выполняется:

$$K_{3.П} = \frac{278}{250} = 1,11 \leq 1,4.$$

Все условия проверок выполняются в полном объёме.

Таким образом, установлено, что блочный повышающий трансформатор Т1 типа ТДЦ 250000/110 электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, выдержит систематическую нагрузку и допустимую перегрузку потребителей. Аналогично проведены проверочные расчёты номинальной мощности остальных блочных трансформаторов и автотрансформатора связи 220/110 кВ, которые установлены на электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края. Результаты расчёта представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты проверки номинальной мощности блочных трансформаторов и автотрансформатора связи 220/110 кВ «ХТЭЦ-3»

Наименование трансформатора	Обозначение в схеме	Марка трансформатора	S _{т.} , кВА	S _{ном.т.р.} , кВА	K _{з.н.} / K _{з.п.}
Блочный	Т1	ТДЦ 250000/110	278,0	198,6	0,56/1,11
Блочный	Т2	ТДЦ 250000/220	248,0	177,1	0,49/0,99
Блочный	Т3	ТДЦ 250000/220	254,0	181,4	0,51/1,02
Блочный	Т4	ТДЦ 250000/220	281,0	200,7	0,56/1,12
Связи	АТ1	АТДЦТН 200000/220/110	200,0	142,9	0,5/1,00

Таким образом, в результате проведения проверочного расчёта мощности силовых трансформаторов, установлено, что результаты проверки номинальной мощности блочных трансформаторов и автотрансформатора связи 220/110 кВ «ХТЭЦ-3», позволяют использовать все установленные трансформаторы на данном объекте без их замены. Таким образом, в работе они окончательно принимаются для установки на Хабаровской ТЭЦ-3.

2.2 Проверочный расчёт трансформаторов собственных нужд ХТЭЦ-3

Проводится проверочный выбор основных трансформаторов собственных нужд, установленных на рассматриваемой электрической станции «ХТЭЦ-3».

Установлено, что на Хабаровской ТЭЦ-3 находятся следующие основные трансформаторы собственных нужд (далее – ТСН), которые нуждаются в проверке на систематические и аварийные перегрузки:

- три основных трансформатора собственных нужд: ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1,2), ТРДНС 32000/17,5 (ТСР-3);
- резервный трансформатор собственных нужд в ОРУ 110 кВ марки ТРДН 40000/110 (РТСР).

Предварительная проверка правильности выбора трансформаторов собственных нужд электрической станции «ХТЭЦ-3», исходя из значения максимальной нагрузки системы собственных нужд каждого из перечисленных трансформаторов.

При этом используется методика и основные расчётные формулы, которые применялись для выбора и проверки блочных трансформаторов и автотрансформатора связи в работе ранее.

Выбор и проверка ТСН проводится аналогично.

Расчёт проводится на примере ТСН марки ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1) по условиям (1) – (4).

По условию (1) для ТСН марки ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1) электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края:

$$S_{\text{ном.т.р}} = \frac{48}{2 \cdot 0,7} \approx 34,3 \text{ МВА.}$$

Соответственно, исходя из полученных результатов расчёта, установлено, что стандартная (паспортная) мощность ТСН марки ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1) электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, равная 40 МВА, проходит проверку по установленной нагрузочной способности:

$$S_{ном.т} = 40 \text{ МВА} \geq S_{ном.т.р} = 34,3 \text{ МВА.}$$

Для ТСН необходимо также проверить коэффициенты систематических и аварийных нагрузок и перегрузок.

Коэффициент загрузки ТСН марки ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1) в нормальном режиме его работы:

$$K_{з.н} = \frac{34,3}{2 \cdot 40} = 0,43 \leq 0,7.$$

Коэффициент загрузки ТСН марки ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1) в послеаварийном режиме (в работе остаётся один трансформатор):

$$K_{з.п} = \frac{34,3}{40} = 0,86 \leq 1,4.$$

Все условия проверок ТСН марки ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1) выполняются в полном объёме.

Таким образом, установлено, что ТСН марки ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1) электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, выдержит систематическую нагрузку и допустимую перегрузку потребителей.

Аналогично проведены проверочные расчёты номинальной мощности остальных трансформаторов системы собственных нужд (основных и

резервного), которые установлены на электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края.

Результаты выбора и проверочного расчёта основных и резервного ТСН представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты проверки номинальной мощности трансформаторов собственных нужд «ХТЭЦ-3»

Наименование трансформатора	Обозначение в схеме	Марка трансформатора	$S_{т.}$, кВА	$S_{ном.т.р.}$, кВА	$K_{з.н.}/ K_{з.п.}$
Основной ТСН	ТСР-1	ТРДНС 40000/17,5	48,0	34,3	0,43/0,86
Основной ТСН	ТСР-2	ТРДНС 40000/17,5	50,0	35,7	0,63/1,25
Основной ТСН	ТСР-3	ТРДНС 32000/17,5	38,0	27,1	0,60/1,19
Основной ТСН	ТСР-4	ТРДНС 32000/17,5	38,0	27,1	0,60/1,19
Резервный ТСН	РТСР	ТРДН 40000/110	42,0	30,0	0,53/1,05

Установлено, что на Хабаровской ТЭЦ-3 все основные и резервный трансформаторы собственных нужд, соответствуют проверке на систематические и аварийные перегрузки.

Таким образом, в работе они окончательно принимаются для применения на Хабаровской ТЭЦ-3.

Выводы по разделу.

В результате работы, проведён проверочный расчёт силовых блочных трансформаторов и трансформаторов собственных нужд рассматриваемой в работе Хабаровской ТЭЦ-3.

Установлено, что все силовые блочные трансформаторы и трансформаторы собственных нужд, установленные на Хабаровской ТЭЦ-3, удовлетворяют условиям всех требуемых проверок, поэтому они могут быть приняты к дальнейшей эксплуатации на объекте с учётом внесения изменений в схему электрических соединений ОРУ 220 кВ.

3 Выбор основного оборудования ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

3.1 Расчёт максимальных рабочих токов основного электрооборудования ОРУ 220 кВ

Для достижения поставленной цели в работе следует провести расчёт максимальных рабочих токов основного электрооборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.

Максимальные рабочие токи трансформаторных вводов ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 определяются, исходя из условий резервирования в схеме электрических соединений.

Для трансформаторных вводов от повышающих блочных трансформаторов Т2, Т3 и Т4 (рисунок 1), к ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 с учётом резервирования, максимальный рабочий ток на стороне 220 кВ определяется с учётом коэффициента резервирования:

$$I_T = K_p \cdot \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (5)$$

где $S_{ном.т}$ – номинальная мощность блочного трансформатора, кВА;

K_p – коэффициент резервирования схемы электрических соединений, о.е.

Для автотрансформаторов связи АТ1 (рисунок 1), к ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, максимальный рабочий ток на стороне 220 кВ определяется без учёта коэффициента резервирования, так как он один в схеме и резервирования не предусмотрено:

$$I_{АТ} = \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (6)$$

Расчёт максимального рабочего тока на стороне 220 кВ, проводится на примере блочного силового повышающего трансформатора Т2, питающего ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 по условию (5):

$$I_{T2} = 1,4 \cdot \frac{250000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 656,1 \text{ A.}$$

Аналогично определены максимальные рабочие токи остальных трансформаторных присоединений ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 и результаты представлены в таблице 4.

Для сборных шин 220 кВ в ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 максимальный рабочий ток определяется суммой максимальных рабочих токов трансформаторных вводов с учётом коэффициента одновременности, а также количества рабочих секций сборных шин в схеме электрических соединений:

$$I_{III} = \frac{(I_{T1} + I_{T2} + I_{T3} + I_{T4} + I_{T5}) \cdot K_o}{n}, \quad (7)$$

где K_o - значение коэффициента максимумов нагрузки на шинах 220 кВ в ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3;

n – количества рабочих секций сборных шин в схеме электрических соединений, шт.

Таким образом по (7):

$$I_{III} = \left(\frac{656,1 + 656,1 + 656,1 + 524,9}{2} \right) \cdot 0,85 = 1059,6 \text{ A.}$$

Результаты расчёта максимальных рабочих токов трансформаторных присоединений и секций сборных шин ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта максимальных рабочих токов трансформаторных присоединений и секций сборных шин ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Наименование	Назначение и обозначение в схеме	$S_{ном.т}, кВА$	I_m, A
Трансформаторные вводы 220 кВ	Повышающий трансформатор Т2	250000	656,1
	Повышающий трансформатор Т3	250000	656,1
	Повышающий трансформатор Т4	250000	656,1
	Автотрансформатор связи АТ1	200000	524,9
Сборные шины 220 кВ	Секции сборных шин 220 кВ (каждая)	-	1059,6

Полученные результаты расчёта максимальных рабочих токов трансформаторных присоединений и секций сборных шин ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 используются в работе далее.

3.2 Расчёт токов короткого замыкания

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в ОРУ 220 кВ.

Исходная расчётная схема, непосредственно используемая для расчёта максимального трёхфазного тока короткого замыкания (далее – КЗ) на сборных шинах ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, представлена в работе на рисунке 2.

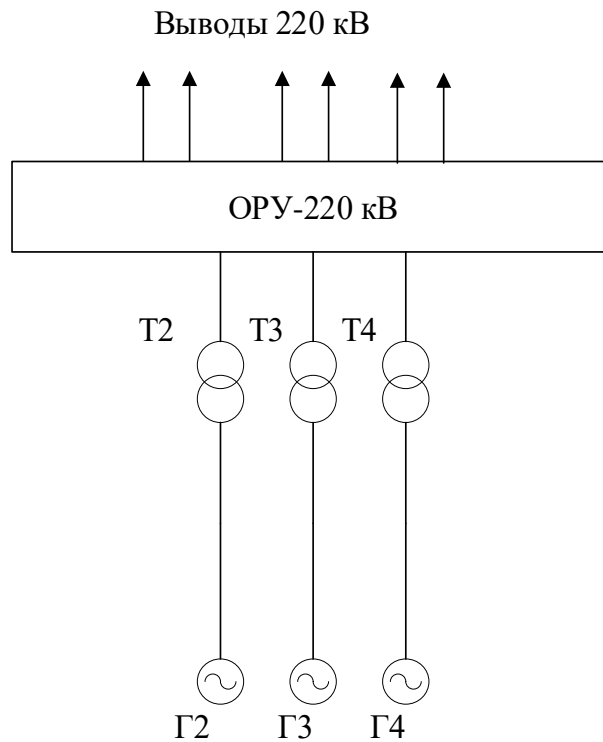


Рисунок 2 – Исходная расчётная схема, используемая для расчёта максимального трёхфазного тока КЗ на сборных шинах ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Принимается предположение, что автотрансформатор связи АТ-1 будет отключён.

Исходя из исходной расчётной схемы, используемой для расчёта максимального трёхфазного тока КЗ на сборных шинах ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, составляется исходная схема замещения для расчёта максимального трёхфазного тока КЗ на объекте (рисунок 3).

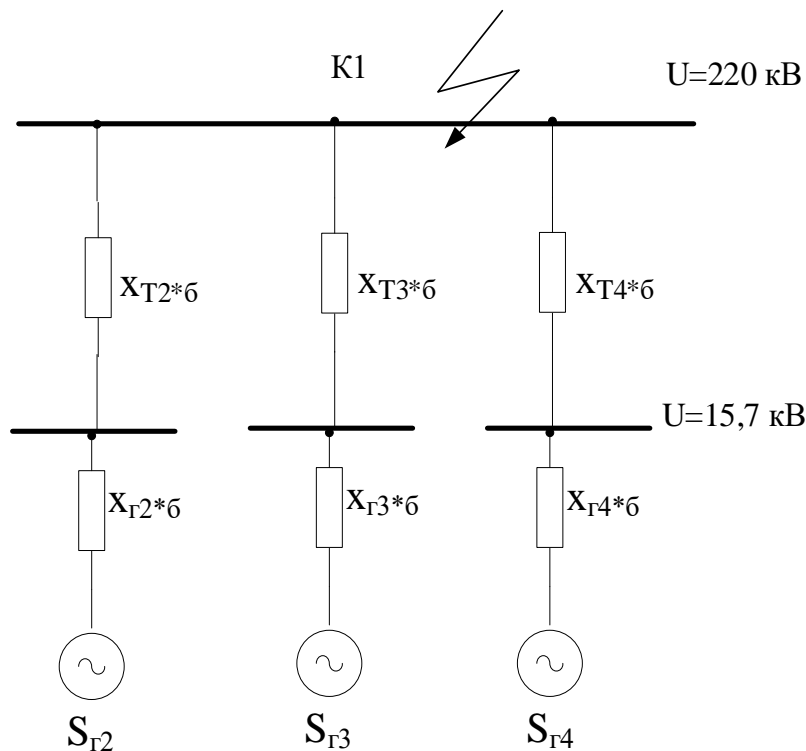


Рисунок 3 – Исходная схема замещения для расчёта максимального трёхфазного тока КЗ на сборных шинах ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Следующим шагом будет расчёт сопротивлений элементов схемы замещения.

Все расчёты производятся в относительных единицах при последующем переводе полученного результата расчёта максимального тока КЗ в именованные единицы согласно методике [12]. Выбираются базисные условия. Принимается базисная мощность $S_6=100$ МВА, а базисное напряжение U_6 равным напряжению ступени, на которой рассчитывается ток короткого замыкания, с учётом повышенного значения напряжения на шинах и трансформаторных вводах в 1,05 раза, то есть $U_6=220 \cdot 1,05=231$ кВ.

Сопротивления силовых трансформаторов схемы рассчитывается по известному выражению [12,14]:

$$X_{T*6} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H}, \quad (8)$$

где u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, в процентах;

S_{σ} – базисная мощность, МВА;

S_H – номинальная мощность силового трансформатора, МВА.

Расчёт сопротивления на примере блочного трансформатора Т2 (исходные параметры: $S_H = 250$ МВА, $u_k = 11,0$ %):

$$X_{T1*\sigma} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_H} = \frac{11}{100} \cdot \frac{100}{250} = 0,044.$$

Аналогичным образом считаются сопротивления всех остальных силовых трансформаторов схемы замещения и результаты расчёта приведены в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта сопротивлений трансформаторов схемы замещения

Наименование трансформатора	Обозначение в схеме	Марка трансформатора	$S_{\text{ном.т.}}$, кВА	Сопротивление трансформатора, X_{T*} , о.е.
Блочный	Т2	ТДЦ 250000/220	250	0,044
Блочный	Т3	ТДЦ 250000/220	250	0,044
Блочный	Т4	ТДЦ 250000/220	250	0,044

Сопротивления турбогенераторов схемы рассчитываются по известной формуле [12,14]:

$$X_{G*\sigma} = X''_* \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{HG}}, \quad (9)$$

где S_{HG} – номинальная мощность турбогенератора, МВА;

X''_* – сверхпереходное индуктивное сопротивление турбогенератора (определяется по справочным данным завода-изготовителя в зависимости от типа генератора).

Расчёт сопротивления на примере турбогенератора Г2 (исходные параметры: $X''_* = 0,143$, $\cos\varphi = 0,85$, $S_{\text{НГ}} = 250$ МВА) [12,14]:

$$X_{Г1*} = X''_* \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НГ}}} = 0,143 \cdot \frac{100}{250} = 0,0572.$$

Аналогичным образом считаются сопротивления всех остальных турбогенераторов схемы и результаты расчёта приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта сопротивлений турбогенераторов схемы замещения

Обозначение на схеме	Марка турбогенератора	$S_{\text{НГ}}$, кВА	Сопротивление турбогенератора, $X_{Г*}$, о.е.
Г2	ТГВ-200-2М	250	0,0572
Г3	ТГВ-200-2М	250	0,0572
Г4	ТГВ-200-2М	250	0,0572

После расчёта основных сопротивлений схемы замещения, требуется провести упрощение исходной схемы до элементарного уровня.

При этом учитываются известные выражения для преобразования последовательных и параллельных сопротивлений, а также объединения источников питания.

Проводятся соответствующие преобразования для исходной схемы замещения.

Объединяются сопротивления параллельно включенных блочных повышающих трансформаторов Т2, Т3 и Т4 [12,14]:

$$X_1 = \frac{1}{\left(\frac{1}{X_{T2}} + \frac{1}{X_{T3}} + \frac{1}{X_{T4}} \right)}. \quad (10)$$

Согласно (10):

$$X_1 = \frac{1}{\left(\frac{1}{0,044} + \frac{1}{0,044} + \frac{1}{0,044}\right)} \approx 0,015 \text{ о.е.}$$

Объединяются сопротивления параллельно включенных генераторов Г2, Г3 и Г4 [12,14]:

$$X_2 = \frac{1}{\left(\frac{1}{X_{Г2}} + \frac{1}{X_{Г3}} + \frac{1}{X_{Г4}}\right)}. \quad (11)$$

Согласно (11)

$$X_2 = \frac{1}{\left(\frac{1}{0,0572} + \frac{1}{0,0572} + \frac{1}{0,0572}\right)} \approx 0,019 \text{ о.е.}$$

Однако сопротивление генераторов не находится на основной ступени, поэтому его необходимо умножить на коэффициент трансформации системы, приведя, таким образом, к базисным условиям [12,14]:

$$X_2 = 0,019 \cdot \frac{220}{15,7} = 0,266 \text{ о.е.}$$

По справочным данным, ЭДС генератора марки ТГВ-200-2М при условии принятия базисного напряжения, равного 220 кВ, можно принять равной 1,08 о.е.

Таким образом, исходная схема замещения преобразуется к элементарному виду, в котором есть два последовательных сопротивления (генераторов и трансформаторов), а также сверхпереходная ЭДС генераторов.

Упрощённая схема замещения, полученная в результате преобразования к элементарному виду, показана на рисунке 4.

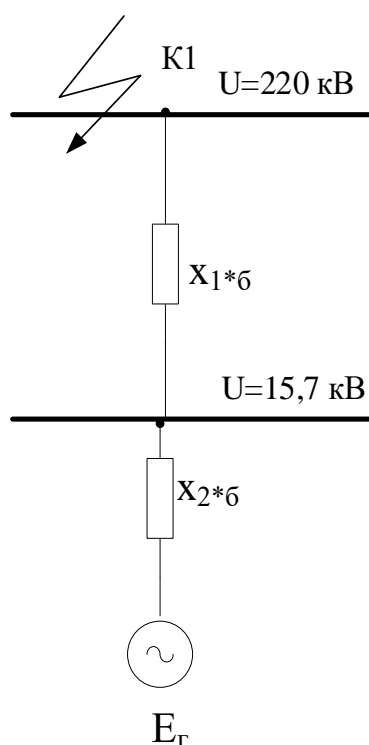


Рисунок 4 – Упрощённая схема замещения для расчёта максимального трёхфазного тока КЗ на сборных шинах ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Два последовательных сопротивления схемы рисунка 4 приведены к базисным условиям, следовательно, определяется суммарное сопротивление схемы путём их сложения [12,14]:

$$X_3 = X_1 + X_2, \text{ о.е.} \quad (12)$$

В численном значении:

$$X_3 = 0,015 + 0,266 = 0,281 \text{ о.е.}$$

Значение тока трёхфазного короткого замыкания на шинах ОРУ 220 кВ в максимальном режиме, определяется так [12,14]:

$$I_1'' = I_{1nt} = I_{1\infty} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{cm} \cdot X_{16^{*\sigma}}}. \quad (13)$$

По условию (13) в именованных единицах:

$$I_1'' = I_{1nt} = I_{1\infty} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 231 \cdot 0,281} = 0,89 \text{ кА}.$$

Значение ударного тока i_y [12,14]:

$$i_y = I_1'' \cdot \sqrt{2} \cdot K_y, \quad (14)$$

где K_y – ударный коэффициент.

По условию (14):

$$i_y = 0,89 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 2,27 \text{ кА}.$$

Максимальное мгновенное действующее значение тока короткого замыкания в начале процесса КЗ [12]:

$$I_{n.m} = I_{K3} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2}. \quad (15)$$

По условию (15):

$$I_y = 0,89 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (2,27 - 1)^2} = 1,83 \text{ кА}.$$

Полученные результаты расчёта тока короткого замыкания на сборных шинах 220 кВ в максимальном режиме работы ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, а также значение ударного тока КЗ и максимального мгновенного

действующего значения тока короткого замыкания в начале процесса КЗ, представлены в форме таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты расчёта тока КЗ на сборных шинах 220 кВ в максимальном режиме работы ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

U _{ст} , кВ	I _{кз} , кА	i _у , кА	I _{п.т} , кА	S _{кз} , МВА
231	0,89	2,27	1,83	195,8

Полученные результаты ТКЗ, а также величины ударных токов, на шинах 220 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы Хабаровской ТЭЦ-3, используются в работе для соответствующих проверок выбранного нового оборудования распределительных устройств объекта.

3.3 Выбор проводников в ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Проводится выбор проводников ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.

В работе подлежат выбору следующие проводники:

- воздушные линии шести отходящих присоединений потребителей, получающих питание от ОРУ 220 кВ;
- шинные конструкции (ошиновка) основных присоединений схемы ОРУ 220 кВ.

Все перечисленные выше проводники – класса напряжения выше 1 кВ (220 кВ), поэтому и методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что выбор сечений проводников, а также ошиновки в РУ-220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, осуществляется по известному условию экономической плотности тока [4]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (16)$$

где j_3 – «экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

Для проверки выбранного сечения проводников отходящих воздушных линий потребителей 220 кВ на понизительной подстанции Хабаровской ТЭЦ-3, необходимо рассчитать их максимальный ток послеаварийного режима работы с учётом условий резервирования в схеме.

По упрощённой методике, значение максимального тока ПАВ режима можно принять равным рабочему току, помноженному на коэффициент резервирования, равный 1,4 [11]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (17)$$

где S_p – расчётная полная нагрузка воздушной линии, кВА (по данным энергосистемы);

$U_{\text{ном}}$ – «номинальное напряжение линии, кВ» [10].

Проверка провода воздушных линий в нормальном режиме работы [11]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p, \quad (18)$$

где $I_{\text{дон}}$ – «предельно – допустимый ток проводника, А» [10].

Проверка выбранного сечения провода воздушной линии в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{p.\max}, \quad (19)$$

где $I_{p.\max}$ – максимальный ток послеаварийного режима работы воздушной линии с учётом условий резервирования в схеме, А.

Выполнение условия проверяется по следующему соотношению:

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (20)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.

Проводится расчёт и выбор сечения проводника отходящей воздушной линии потребителей 220 кВ на примере ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223).

Максимальная мощность данной ВЛ 220 кВ составляет 30000 кВА (30 МВА). С учётом этого фактора, а также принимая во внимание то, что данная линия – двухцепная:

$$I_p = \frac{30000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 220} \approx 39,36 \text{ А.}$$

Расчётное минимальное сечение ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223):

$$F_s = \frac{39,36}{1,1} = 35,78 \text{ мм}^2.$$

Выбирается провод марки АЕРО-Z-261 (номинальное сечение – 261 мм²), который установлен на данной линии.

Таким образом, установлено, что сечение ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223), выполненное с применением провода марки АЕРО-Z-261, соответствует условиям выбора и совпадает с фактическими сечениями проводов питающей линии 220 кВ.

Так как в работе проводится проверочный расчёт провода данной линии, сечение данного провода ВЛ-220 кВ, питающей подстанцию, принимается за основу.

Проверка провода ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223) по току нормального режима выполняется:

$$540 A \geq 39,36 A.$$

Значение максимального тока ПАВ режима провода ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223), с учётом резервирования в схеме и отключения потребителей:

$$I_{p.\max} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 220} \approx 78,73 A.$$

Проверка проводов ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223) по максимальному току ПАВ режима выполняется:

$$540 A \geq 78,73 A.$$

Проверка по механической прочности ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223) выполняется:

$$261 \text{ мм}^2 \geq 120 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, в работе путём проведения соответствующих расчётов и проверок окончательно установлено, что сечение провода на ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223) с применением проводов марки АЕРО-Z-261, соответствует условиям выбора и совпадает с фактическими сечениями провода на данной воздушной линии.

Проверка сечений проводов остальных отходящих линий распределительной сети напряжением 220 кВ ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 выполнены по аналогичной методике с приведением полученных результатов в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты проверочного расчёта проводников распределительных воздушных линий ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Отходящая линия	I_p , А	$I_{p,max}$, А	F_{min} , мм ²	$F_{ст}$, мм ²	Марка провода	$I_{доп.}$, А
ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 I цепь с отпайкой на ПС Князе-Волконка (Л-223)	39,36	78,73	120	261	АЕРО-Z-261	540
ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 II цепь с отпайкой на ПС НПС-34 (Л-224)	52,41	104,82	120	261	АЕРО-Z-261	540
ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – РЦ (Л-221)	48,63	97,26	120	261	АЕРО-Z-261	540
КВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Амур (Л-222)	44,31	88,62	120	261	АЕРО-Z-261	540
ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3 – Хехцир 2 с отпайкой на ПС НПС-34	37,41	74,82	120	261	АЕРО-Z-261	540
ВЛ 220 кВ Хабаровская ТЭЦ-3-Восток	35,17	70,34	120	261	АЕРО-Z-261	540

Таким образом, в работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, подтверждены все сечения проводников распределительных воздушных линий 220 кВ, питающие потребители от ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.

Исходя из полученных результатов, в работе на всех линиях подтверждён выбор провода марки АЕРО-Z-261 с допустимым током нормального режима 540 А.

Выбор сборных шин основных присоединений распределительного устройства 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 проводится по максимальному рабочему току по приведённому ранее условию (20).

В ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3» применяется гибкая ошиновка из сталеалюминевых проводов марки АСК для использования на всех присоединениях сборных шин.

Выбор ошиновки в ОРУ 220 кВ проводится на примере присоединения к повышающему трансформатору Т2.

Для применения на данном присоединении предварительно выбрана гибкая ошиновка, выполненная с помощью проводов марки АСК-300/39:

Условие выбора и проверки ошиновки на данном присоединении для установки в ОРУ-220 кВ Хабаровской ТЭЦ выполняется:

$$390 A \geq 220,2 A.$$

Таким образом, на данном присоединении для установки в ОРУ-220 кВ Хабаровской ТЭЦ, обосновано применение провода марки АСК-300/39. Результаты выбора ошиновки основных присоединений распределительного устройства 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 представлены в форме таблицы 9.

Таблица 9 – Результаты выбора ошиновки основных присоединений распределительного устройства 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Наименование	Назначение и обозначение в схеме	I_m, A	Марка ошиновки	$I_{дон}, A$
Трансформаторные вводы 220 кВ	Повышающий трансформатор Т2	656,1	АСК-300/39	710
	Повышающий трансформатор Т3	656,1	АСК-300/39	710
	Повышающий трансформатор Т4	656,1	АСК-300/39	710
	Автотрансформатор связи АТ1	524,9	АСК-300/39	710
Сборные шины 220 кВ	Секции сборных шин 220 кВ (каждая)	1059,6	АСК-700/86	1180

Все выбранные проводники воздушных линий и шинных конструкций на Хабаровской ТЭЦ-3 соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

3.4 Выбор и проверка электрических аппаратов для установки в ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3

Далее в работе, на основании технических данных подстанции и полученных расчётных результатов электрических нагрузок, рабочих и

максимальных токов, а также токов трёхфазного КЗ, проводится непосредственный выбор и проверка основного оборудования с целью проведения модернизации ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края.

Ранее в работе было установлено, что к морально и технически устаревшим и выработавшим свой ресурс электрическим аппаратам, которые требуют замены на новые современные аппараты соответствующих марок, в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края относятся устаревшие масляные баковые выключатели высокого напряжения, которые являются морально и физически устаревшими марками оборудования, которое не производится с конца 90-х годов 20 века на заводах электрооборудования.

В работе они подлежат замене на современные выключатели, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью.

Также установлено, что в ОРУ 220 кВ также требуют замены разъединители.

При этом практическая замена выключателей и разъединителей в ОРУ-220 кВ проводится совместно с изменениями в схеме электрических соединений объекта, что значительно упрощает задачу и ускоряет данный технологический процесс.

Далее на основании расчётов необходимо выбрать и проверить новые выключатели и разъединители для установки в ОРУ 220 кВ на подстанции ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края.

Для защиты и коммутации оборудования в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, устанавливаются новые элегазовые высоковольтные выключатели марки ВГТ-220 П*-40/2500 ХЛ1*[8].

Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а

также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ).

Поэтому к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам.

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий, приведённых далее [8].

Выбор выключателей по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (21)$$

«Выбор выключателей по максимальному рабочему току» [16]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (22)$$

«Проверка выключателя на симметричный ток отключения» [16]:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (23)$$

где « $I_{пт}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [16];

« $I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА» [16].

«Проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (24)$$

где « $i_{ат}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [16];

« β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [16];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов» [16].

«Наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов выключателя» [15]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (25)$$

где « $t_{з.мин} = 0,01$ с – минимальное время действия релейной защиты» [15];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя» [15].

«На электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (26)$$

где « $i_{нр.с}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [16];

« i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [16].

«Проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (27)$$

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$ » [18];

« I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$ » [18];

« t_T – длительность протекания тока термической стойкости, с» [18].

«Расчётное значение теплового импульса» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{омк} + T_a). \quad (28)$$

В ОРУ 220 кВ предварительно выбран выключатель элегазовый марки ВГТ-220 П*-40/2500 ХЛ1*.

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки в ОРУ-220 кВ на ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, проводится по приведённым выше условиям (таблица 10).

Таблица 10 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в ОРУ- 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края

Наименование и марка аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Выключатели ВГТ-220 П*-40/2500 ХЛ1*	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 220 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 656,1 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,83 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,27 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 0,89^2 \cdot 3 = 2,38 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

Далее проводится выбор и проверка новых разъединителей по условиям установки в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края в результате проведения реконструкции ОРУ 220 кВ данного объекта.

Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках.

Таким образом, разъединитель – это очень важный аппарат по условиям электробезопасности.

В работе для установки в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края выбираются новые современные разъединители марки SGF 245 n П* 100 УХЛ1+1Е\ 2 МТ-100.

Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12].

Результаты выбора и проверочного расчёта новых разъединителей в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора и проверочного расчёта разъединителей ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители SGF 245 n II* 1000 УХЛ1+1Е\ 2 МТ-100	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 220 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 656,1 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,82 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 0,89^2 \cdot 3 =$ $= 2,38 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 =$ $= 19200 \text{ кА}^2\text{с.}$

В ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, после проведения модернизации, для защиты от атмосферных (внешних) и внутренних перенапряжений, вместо разрядников, установленных в исходной схеме, выбираются для непосредственного применения современные ограничители перенапряжения марки ОПН-220. Известно, что ОПН в ОРУ 220 кВ выбирают и проверяют по номинальному напряжению сети, в которую они устанавливаются, а также по максимальному рабочему току и соответствию термической и динамической стойкости [13]. Результаты выбора ОПН для установки в ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3» представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты выбора ОПН для установки в ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3» Хабаровского края

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные ЭА
ОПН типа ОПН-220 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 220 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 656,1 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,82 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 80 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 0,89^2 \cdot 3 =$ $= 2,38 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 =$ $= 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

Также необходимо выбрать новые трансформаторы тока и напряжения (измерительные трансформаторы) для их непосредственной установки в ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3» Хабаровского края.

Выбор новых измерительных трансформаторов тока и напряжения в работе чрезвычайно важна, так они питают приборы учёта, контроля и управления электроэнергией, а также цепи релейной защиты, автоматики, сигнализации и телеметрии.

На ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, после проведения модернизации, применяются трансформаторы тока, встроенные в выключатели колонковые элегазовые трехполюсные марки ВГТ-220 П*-40/2500 ХЛ1*.

Так как данные трансформаторы тока встроены в выключатели, самостоятельно они не используются и не выбираются, а принимаются к выбору совместно с проверенным ранее высоковольтными выключателями, в которые они конструктивно входят.

Первичный ток трансформаторов тока принимается равным номинальному первичному току схемы ОРУ 220 кВ.

Результаты проверки новых трансформаторов напряжения для установки в ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты проверки трансформаторов напряжения для установки в ОРУ 220 кВ «ХТЭЦ-3» Хабаровского края

Тип ТН	Кол-во ТН	Мощность на один ТН, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \sum}$, ВА
НАМИ-220-УХЛ1	2	11/2	1	$\frac{220}{220}$	$\frac{600,0}{40,0}$

Всё выбранное оборудование для установки в ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 проверено на термическую и электродинамическую стойкость к токам короткого замыкания, а также на условие соответствия максимальным рабочим токам сети, рассчитанным в работе.

Установлено, что в результате проведения проверочных расчётов по выбору электрических аппаратов для установки в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края с целью её модернизации, все выбранные аппараты отвечают условиям всех требуемых проверок.

Все аппараты показаны на схеме электрических соединений ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края в графической части работы.

Таким образом, в работе приняты современные технические решения по выбору и проверке нового современного электрооборудования ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, включающие применение нового современного оборудования, которое характеризуется высокими техническими и экономическими характеристиками.

Выводы по разделу.

В работе, для подтверждения работоспособности схемы электрических соединений Хабаровской ТЭЦ-3, обусловленная реконструкцией схемы ОРУ-220 кВ, проведено техническое обоснование принятых решений по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования объекта.

В результате выполнения данного раздела, рассчитаны максимальные рабочие токи основных присоединений ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края.

В работе проведён расчёт токов КЗ (двухфазного и трёхфазного) и ударных токов на выводах секций сборных шин ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 в максимальном режиме работы системы.

Полученные в работе результаты ТКЗ на шинах 220 кВ в максимальном режиме работы ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, использованы в работе для соответствующих проверок предварительно выбранного нового оборудования для установки в распределительных устройствах подстанции с целью её модернизации.

Проведён расчёт сечений отходящих линий ВЛ-220 кВ к потребителям ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, для питания которых выбраны и проверены проводники марки АСК.

В работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, подтверждены все сечения проводников распределительных воздушных линий 220 кВ, питающие потребители от ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3.

Исходя из полученных результатов, в работе на всех линиях подтверждён выбор провода марки АЕРО-Z-261 с допустимым током нормального режима 540 А.

Выбрана гибкая ошиновка для питания основных присоединений ОРУ-220 кВ Хабаровской ТЭЦ. Расчётным путём обосновано применение гибкой ошиновки из провода марки АСК-300/39 для применения на всех трансформаторных вводах схемы, для применения на сборных шинах ОРУ 220 кВ обосновано применение провода марки АСК-700/86.

Осуществлён выбор новых современных аппаратов для установки в ОРУ 220 кВ в результате её модернизации. Для защиты и коммутации оборудования в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края устанавливаются новые элегазовые высоковольтные выключатели марки ВГТ-220 П*-40/2500 ХЛ1*.

Для установки в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края выбраны новые современные разъединители марки SGF 245 n П* 100 УХЛ1+1Е\ 2 МТ-100.

Также проверены на соответствие параметрам схемы ограничители перенапряжения ОПН-220 УХЛ1 и трансформаторы напряжения марки НАМИ-220-УХЛ1. Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ-220 кВ на Хабаровской ТЭЦ-3 и модернизации оборудования ОРУ-220 кВ объекта исследования.

Заключение

В результате выполнения работы, проведена реконструкция электрической части схемы, обусловленная вводом нового блока «генератор-блочный трансформатор» (Г4-Т4), а также модернизация основного электрооборудования ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края.

В результате проведения анализа оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 было установлено, что на объекте исследования на сегодняшний день находятся некоторые устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты, которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок.

Установлено, что в схеме ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 используются устаревшие электрические аппараты, которые выработали свой ресурс, к ним относятся:

- устаревшие и изношенные выключатели высокого напряжения типа ВМТ-220Б-20/1000 с приводом ППК-1800;
- устаревшие и изношенные разъединители РДЗ-2-220/1000 УХЛ1.

Установлено, что данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования. Следовательно, решение данного вопроса на сегодняшний день носит актуальный характер.

Предложено в работе заменить их на новые, современные модификации, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью. Такая замена будет иметь значительный технико-экономический эффект, так как позволит предотвратить возникновение аварий оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, а в случае возникновения – быстро их локализовать, значительно снизить денежные затраты на монтаж,

обслуживание и ремонт нового оборудования, так как практически на все новейшие модификации завод-изготовитель даёт расширенную гарантию не менее 15-20 лет. В итоге значительно снизится перерыв в электроснабжении потребителей ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края, что также принесёт эффект как технический, так и экономический. Предложенная модернизация обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

При этом модернизация оборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 проводится с учётом изменений в схеме электрических соединений объекта, заключающиеся во вводе в работу четвёртого энергоблока «генератор – блочный трансформатор» (Г4-Т4), с целью увеличения мощностей в отопительный сезон и повышения надёжности схемы ОРУ 220 кВ путём применения дополнительного источника питания в условиях данной схемы электрических соединений.

На основании приведённой технической характеристики объекта с использованием его структурной схемы, а также схемы главных электрических соединений Хабаровской ТЭЦ-3, в работе осуществлено решение основных поставленных задач:

- проведён проверочный выбор основных силовых трансформаторов, к которым относятся блочные трансформаторы и автотрансформатор связи 220/110 кВ, установленных на электрической станции «ХТЭЦ-3». Установлено, что на Хабаровской ТЭЦ-3 все силовые трансформаторы удовлетворяют условиям проверки на систематические и аварийные перегрузки: четыре блочных повышающих трансформатора: Т1 (трансформатор типа ТДЦ 250000/110), Т2 (трансформатор типа ТДЦ 250000/220), Т3 (трансформатор типа ТДЦ 250000/220), Т4 (трансформатор типа ТДЦ

- 250000/220), а также автотрансформатор связи между ОРУ 110 кВ и ОРУ 220 кВ (АТ-1 типа АТДЦТН 200000/220/110);
- проведён выбор с последующей проверкой на допустимую аварийную перегрузку и систематическую загрузку, всех трансформаторов собственных нужд «ХТЭЦ-3». Установлено, что на Хабаровской ТЭЦ-3 находятся следующие основные трансформаторы собственных нужд, которые проверены в работе на систематические и аварийные перегрузки: три основных трансформатора собственных нужд: ТРДНС 40000/17,5 (ТСР-1,2), ТРДНС 32000/17,5 (ТРС-3), а также резервный трансформатор собственных нужд в ОРУ 110 кВ марки ТРДН 40000/110 (РТСР);
 - проведён расчёт максимальных рабочих токов основного электрооборудования электрической части ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3. Максимальные рабочие токи трансформаторных вводов ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3 определены, исходя из условий резервирования в схеме электрических соединений;
 - рассчитаны значения тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах 220 кВ в максимальном режиме работы ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, а также значение ударного тока КЗ и максимального мгновенного действующего значения тока короткого замыкания в начале процесса КЗ;
 - проведён расчёт и проверка сечений отходящих линий ВЛ-220 кВ к потребителям ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3, для питания которых выбраны и проверены проводники марки АСК. В работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, подтверждены все сечения проводников распределительных воздушных линий 220 кВ, питающие потребители от ОРУ 220 кВ Хабаровской ТЭЦ-3. Исходя из полученных результатов, в работе на всех линиях подтверждён выбор провода марки АЕРО-Z-261 с допустимым током нормального режима 540 А;

- выбрана гибкая ошиновка для питания основных присоединений ОРУ-220 кВ Хабаровской ТЭЦ. Расчётным путём обосновано применение гибкой ошиновки из провода марки АСК-300/39 для применения на всех трансформаторных вводах схемы, для применения на сборных шинах ОРУ 220 кВ обосновано применение провода марки АСК-700/86;
- осуществлён выбор новых современных аппаратов для установки в ОРУ 220 кВ в результате её модернизации. Для защиты и коммутации оборудования в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края устанавливаются новые элегазовые высоковольтные выключатели марки ВГТ-220 П*-40/2500 ХЛ1*. Для установки в ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края выбраны новые современные разъединители марки SGF 245 n П* 100 УХЛ1+1Е\ 2 МТ-100. Также проверены на соответствие параметрам схемы ограничители перенапряжения ОПН-220 УХЛ1 и трансформаторы напряжения марки НАМИ-220-УХЛ1.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по разработке, проверке и внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации основного оборудования ОРУ 220 кВ электрической станции «ХТЭЦ-3» Хабаровского края с проверкой всех принятых технических решений.

Список используемых источников

1. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 06.03.2023).
2. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 06.03.2023).
3. 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: 06.03.2023).
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
5. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие для прикладного бакалавриата. М.: Юрайт, 2019. 180 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 07.03.2023).

9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.
11. Правила устройства электроустановок. Издание 7 [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (дата обращения: 08.03.2023).
12. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
13. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.
14. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
15. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 08.03.2023).
16. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 06.03.2023).
17. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 07.03.2023).
18. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2019. 136 с.
19. Эксплуатация распределительных устройств. Главные схемы

распределительных устройств. [Электронный ресурс]: URL: <https://forca.ru/knigi/oborudovanie/ekspluatatsiya-raspredelitelnyh-ustroystv-2.html> (дата обращения: 06.03.2023).

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. М.: МЭ РФ, 2020. 142 с.