

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 электрической части понизительной подстанции 110/35/10 кВ
«Корсаковская»

Обучающийся

А. А. Ушаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В. И. Платов

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

Тольятти 2023

Аннотация

В работе проведена реконструкция схемы главных электрических соединений нормального режима ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», обусловленная несоответствием схемных решений требованиям нормативных положений электроэнергетики.

Также в работе проведена модернизация основного оборудования распределительных устройств 110 кВ и 10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области РФ. Модернизация заключается в замене некоторых морально и технически устаревших электрических аппаратов на современные марки и модели, обладающие высокими критериями надёжности, экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), электробезопасности и прочими аналогичными показателями.

На основе проведённого анализа исходной схемы электрических соединений и технических характеристик ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, с учётом анализа нагрузки подстанции, с учётом графиков нагрузки, проверены на перегрузочную способность силовые трансформаторы, осуществлён выбор и проверка основного современного оборудования распределительных устройств подстанции, а также проводников системы электроснабжения объекта реконструкции.

Результаты работы позволяют внедрить качественные мероприятия по реконструкции главной электрической схемы нормального режима, с модернизацией основного оборудования распределительных устройств ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика схемы и оборудования подстанции.....	7
1.1 Исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции.....	7
1.2 Анализ требований к подстанциям энергетических систем.....	16
1.3 Обоснование предложений по реконструкции подстанции.....	20
2 Реконструкция электрической части подстанции	24
2.1 Расчёт электрических нагрузок подстанции	24
2.2 Расчёт мощности и выбор силовых трансформаторов подстанции ...	29
2.3 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции.....	37
2.4 Выбор электрических проводников подстанции.....	47
2.5 Выбор и проверка основного оборудования на подстанции.....	54
3 Расчёт системы собственных нужд и молниезащиты на подстанции.....	65
3.1 Расчёт системы собственных нужд подстанции.....	65
3.2 Расчёт молниезащиты подстанции.....	68
Заключение	73
Список используемых источников.....	76

Введение

Целью данной работы является реконструкция электрической части существующей понизительной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», территориально расположенной в Корсаковском районе Сахалинской области Российской Федерации и обеспечивающей электроэнергией потребителей разного характера нагрузки, в том числе промышленного и бытового.

К основным технологическим проблемам в энергосистеме Корсаковского района Сахалинской области, которые требуют немедленного решения, можно отнести слабое обеспечение электрической энергией потребителей, при наличии нарушении питания со стороны 110 кВ из-за отсутствия условий резервирования в схемах питающих подстанций района.

Таким образом, решение данной проблемы путём реконструкции схем первичных соединений одной из питающих подстанций Корсаковского района Сахалинской области, носит актуальный характер и имеет значительную практическую ценность.

Основной задачей данной работы является реконструкция понизительной подстанции переменного тока ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, которая осуществляется путём внесения изменений в схему главных нормальных электрических соединений подстанции, с модернизацией основного оборудования распределительных устройств объекта.

Объектом исследования в работе является схема главных нормальных электрических соединений подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области.

Предметом исследования являются силовые трансформаторы, электрические сети, аппараты, устройства вторичных цепей (собственные нужды, система учёта потребления электроэнергии, система управления энергообеспечением, релейная защита и автоматика) ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области.

Актуальность данной работы связана с возникновением острой проблемы по обеспечению потребителей бесперебойной и качественной электроэнергией в существующей системе электроснабжения Корсаковского района Сахалинской области, в связи с перегрузкой силовых трансформаторов районных подстанций, а также потерей надёжности схемы электрических соединений подстанций «вследствие применения на некоторых из этих подстанций несоответствующих схемных решений и устаревшего и изношенного оборудования, сбои в работе которого приводят к аварийным режимам» [1,5].

Такая проблематика характерна для всего региона и требует незамедлительного решения.

Следовательно, в работе следует провести реконструкцию подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, связанную с одной стороны, с необходимостью внесения изменения в исходную схему главных электрических соединений объекта, в связи с её несоответствием нормативным документам по условиям нагрузочной способности и категории надёжности, а с другой стороны, необходимо модернизировать старое оборудование распределительных устройств подстанции.

Таким образом, будет решена комплексная задача по реконструкции объекта исследования, путём чего будет достигнута основная цель данной работы.

В работе, для достижения поставленной основной цели данной работы, требуется решить такие основные задачи:

- описать объект реконструкции, для чего провести анализ исходных данных, включающих проведение анализа исходной схемы электрических соединений и технических характеристик оборудования ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, с учётом фактических значений исходных технических характеристик и данных подстанции;

- провести анализ нагрузки подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, для чего, используя исходные значения фактических нагрузок и типичный суточный график нагрузки, выбрать и проверить силовые трансформаторы подстанции на перегрузочную способность;
- рассчитать значения токов коротких замыканий на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, включая максимальные и минимальные расчётные значения токов КЗ, а также мощность цепи КЗ и значения сквозных ударных токов;
- провести выбор и проверку основного оборудования распределительных устройств подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, а также проводников системы электроснабжения объекта реконструкции;
- провести выбор схемы и расчёт системы собственных нужд подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области с последующим выбором трансформаторов СН;
- осуществить расчёт молниезащиты для применения на подстанции, с учётом обеспечения достаточного радиуса защиты всего объекта проектирования.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по реконструкции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, с параллельными мероприятиями по модернизации основного электрооборудования распределительных устройств объекта исследования.

При решении в работе всех указанных задач, основная цель будет достигнута в полном объёме.

1 Исходная характеристика схемы и оборудования подстанции

1.1 Исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции

Приводится исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области.

Рассматриваемая в работе ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области является одной из потребительских подстанций Дальневосточных региональных электрических сетей, обеспечивая электроснабжение распределительных подстанций для питания промышленных, бытовых и коммунальных потребителей электроэнергии.

По месту расположения в энергосистеме Сахалинской области, ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» является тупиковой (концевой) подстанцией.

Питание ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» осуществляется от двух независимых источников питания:

- ввод 1 – от ПС-220/110/6 кВ «Южно-Сахалинская» с промежуточным резервированием отпайкой от РУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Южная» (применяется ВЛ-110 кВ с проводом АСК-120);
- ввод 2 – от РУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Хомутово» (применяется ВЛ-110 кВ с проводом АЕРО-Z-261).

Таким образом, в схеме внешнего электроснабжения рассматриваемой в работе ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, обеспечен необходимый и достаточный уровень резервирования внешней системы электроснабжения, достаточный для питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности согласно требованиям [10].

Так как по месту расположения в энергосистеме ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» является концевой (тупиковой) подстанцией, следовательно, через неё транзит мощности не осуществляется.

Однако она является важнейшим источников резерва мощности в системе электроснабжения Корсаковского района, но не используется по назначению.

Данный аспект учитывается в расчётной части работы при расчёте нагрузок и выборе оборудования распределительных устройств подстанции, а также проверки проводников и трансформаторов.

Далее рассматривается структурная схема ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» с последующей характеристикой её основных составляющих и схем электрических соединений.

На объекте проектирования (ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская») находятся следующие основные конструктивные составляющие, описание которых представлено ниже (рисунок 1).

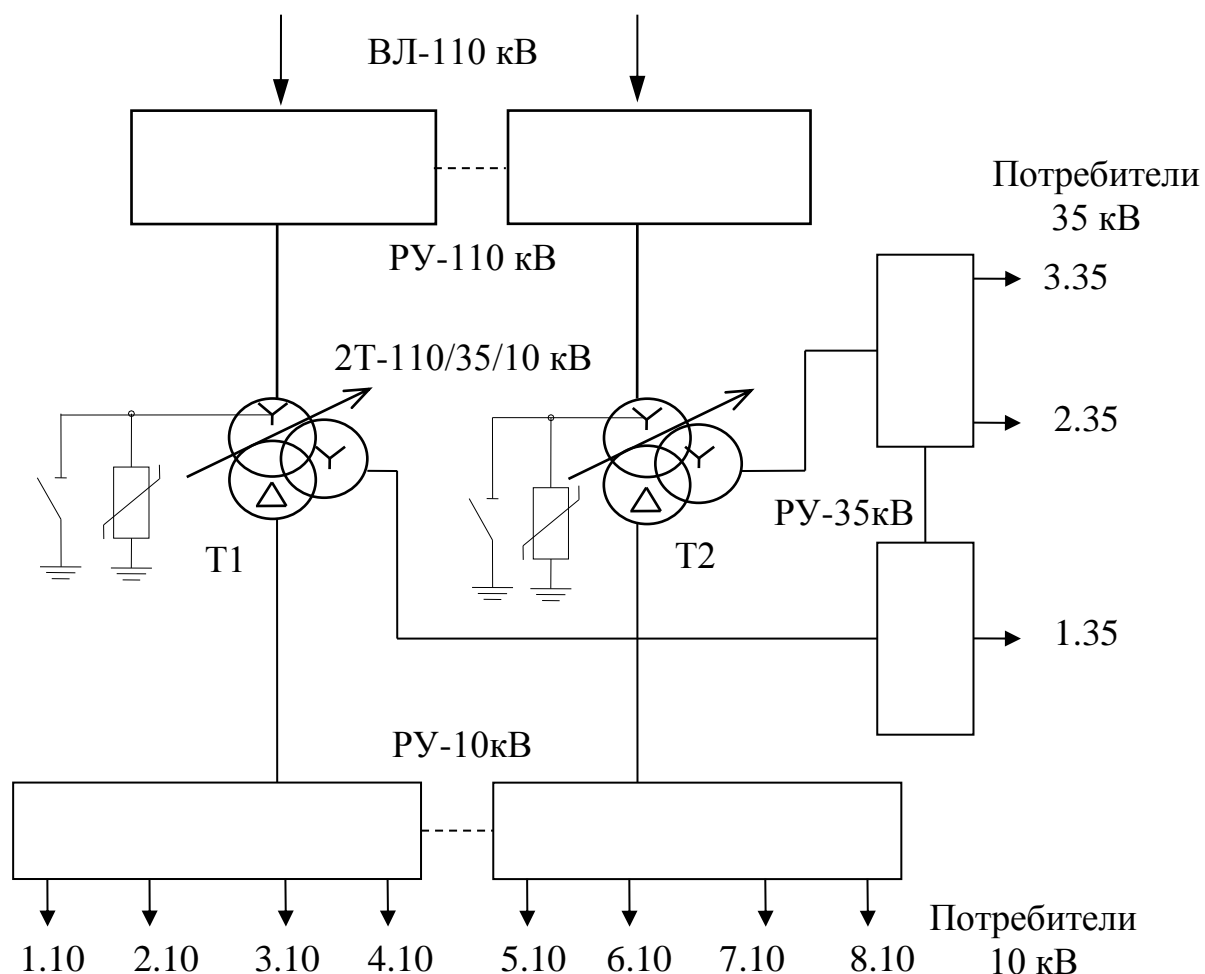


Рисунок 1 – Структурная схема ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Первым основным конструктивным элементом ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» является «распределительное устройство высшего напряжения (110 кВ). Оно необходимо для приёма и распределения электроэнергии на силовые трансформаторы» подстанции с защитой и коммутацией электрической сети 110 кВ данной подстанции.

В РУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» применяется схема «Два блока с выключателями и автоматической перемычкой» (схема «4Н») [7] с установленными двумя разъединителями и выключателем высокого напряжения в ремонтной перемычке (в нормальном режиме работы все они отключены), а также с применением двух блоков «выключатель – разъединитель» на линиях.

Такая схема для питания потребителей подстанции очень надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов. При этом, с целью создания требуемого резерва в системе, применяется раздельная работа двух рабочих секций сборных шин: часть потребителей подключена и питается от одной секции сборных шин (блок «линия – трансформатор Т1»), часть – от второй (блок «линия – трансформатор Т2»). Секционный выключатель в нормальном режиме работы отключён, обеспечивая раздельный режим работы всей системы РУ-110 кВ.

Однако такая схема ОРУ-110 кВ недостаточно надёжная для резервирования питания в системе обеспечения электроэнергией потребителей всего Корсаковского района, потому что не обеспечивает все необходимые условия и требования нормативных документов для обеспечения резервирования других подстанций с учётом возможных перетоков мощности и транзита электроэнергии к ним, в виду отсутствия резервирования в ОРУ-110 кВ для обеспечения данных условий в централизованной электрической сети Корсаковского района.

В виду того, что данное обстоятельство также вызывает массу неудобств при выводе в ремонт оборудования ОРУ-110 кВ, а также в послеаварийном режиме при повреждении одной из питающих линий либо одного и более

звеньев в ОРУ-110 кВ, такая схема электрических соединений нуждается в реконструкции путём её преобразования к виду, который характеризуется отсутствием указанных выше недостатков.

Данную проблему необходимо решить в работе.

В РУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская», установлено следующее основное силовое оборудование (графический лист 1):

- масляные баковые выключатели марки МКП-110-1000/630-20 (со встроенными измерительными трансформаторами тока) – всего в схеме предусмотрено два вводных выключателя (в нормальном режиме оперативной схемы включены), а также один секционный выключатель в ремонтной автоматической перемычке (в нормальном режиме оперативной схемы отключён);
- разъединители марки РНДЗ 2-СК-110/1000У1 – всего в схеме предусмотрено четыре разъединителя, которые установлены до и после автоматической ремонтной перемычки на питающих линиях в схеме (в нормальном режиме оперативной схемы эти разъединители включены), а также два секционных разъединителя в ремонтной автоматической перемычке (в нормальном режиме оперативной схемы отключены).

В РУ-110 кВ подстанции данные выключатели высокого напряжения и разъединители являются давно устаревшим оборудованием, которое введено в эксплуатацию в конце восьмидесятых годов прошлого века, поэтому они нуждаются в модернизации путём замены на новое оборудование.

Кроме основного силового оборудования, в РУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская», также установлено следующее оборудование для питания вторичных цепей и защиты от атмосферных перенапряжений (графический лист 1):

- измерительные трансформаторы тока марки ТФЗМ 110Б-І У1;
- измерительные трансформатор напряжения марки НАМИ-110;
- вентильные разрядники РВС-110.

Из перечисленного «оборудования измерительные трансформаторы тока и напряжения» были модернизированы в 2016 году, поэтому они не нуждаются в замене. С учётом новых перспективных разработок в сфере аппаратов защиты от атмосферных и внутренних перенапряжений, предлагается заменить разрядники РВС-110 кВ на современные ограничители перенапряжения.

От РУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» получают питание два трёхобмоточных силовых трансформатора марки ТДТН-40000/110-У1, имеющих три номинальных напряжения:

- высшее напряжения (ВН) – 110 кВ, питающее напряжение;
- среднее напряжение (СН) – 35 кВ, распределительное напряжение;
- низшее напряжение (НН) – 10 кВ, распределительное напряжение.

Таким образом, данные силовые трансформаторы, установленные на ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская», служат для приёма электроэнергии (обмотка ВН) и её распределения потребителям (обмотки СН и НН).

На сегодняшний день силовые трансформаторы ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» проходили плановый капитальный ремонт в 2020 году и характеризуются хорошей работоспособностью и надёжностью. Вследствие этого, в работе планируется провести их проверку по графику нагрузки на допустимую перегрузку.

В РУ-35 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» применяется схема «Два блока с выключателями и автоматической переемычкой» [7] с установленными двумя разъединителями и выключателем высокого напряжения в ремонтной переемычке (в нормальном режиме работы все они отключены), а также с применением двух блоков «выключатель – разъединитель» на линиях.

Такая схема очень надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов. При этом, с целью создания требуемого резерва в системе, применяется раздельная работа двух рабочих секций сборных шин: часть потребителей подключена и питается от одной секции

сборных шин (блок «линия – трансформатор Т1»), часть – от второй (блок «линия – трансформатор Т2»).

Секционный выключатель в нормальном режиме работы отключён, обеспечивая раздельный режим работы всей системы РУ-35 кВ.

В РУ-35 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская», установлено следующее основное силовое оборудование (графический лист 1):

- современные выключатели марки ВБН-35П-20/1600 У1 (со встроенными измерительными трансформаторами тока) – всего в схеме предусмотрено два вводных выключателя (в нормальном режиме оперативной схемы включены), один секционный выключатель в ремонтной автоматической перемычке (в нормальном режиме оперативной схемы отключён), а также линейные выключатели по числу отходящих линий (два – от первой секции сборных шин 35 кВ, один – от второй секции СШ 35 кВ);
- разъединители марки РГ1-35/1000 УХЛ1 – всего в схеме предусмотрено двенадцать разъединителей, которые установлены до и после каждого из выключателей схемы (в нормальном режиме оперативной схемы все разъединители, кроме находящихся в ремонтной автоматической перемычке, включены).

В РУ-35 кВ подстанции данные выключатели высокого напряжения и разъединители являются современным оборудованием, которое введено в эксплуатацию в 2016 году, поэтому они не нуждаются в модернизации.

Кроме основного силового оборудования, в РУ-35 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская», также установлено следующее современное оборудование для питания вторичных цепей и защиты от атмосферных перенапряжений, также не нуждающееся в модернизации (графический лист 1):

- измерительные трансформаторы тока марки ТФЗМ 35Б-I У1;
- измерительные трансформатор напряжения марки ЗНОМ-35-65 У1;
- ограничители перенапряжения марки ОПН-35М-У1;
- предохранители для защиты ТН марки ПКН-001-35-У1.

В РУ-10 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» применяется схема «Одна рабочая секционированная выключателем система шин» [7] с установленным секционным выключателем высокого напряжения между секциями сборных шин (в нормальном режиме работы отключён). При этом, с целью создания требуемого резерва в системе, в РУ-10 кВ применяется раздельная работа двух рабочих секций сборных шин: часть потребителей подключена и питается от одной секции сборных шин (блок «линия – трансформатор Т1»), часть – от второй (блок «линия – трансформатор Т2»). Секционный выключатель в нормальном режиме работы отключён, обеспечивая раздельный режим работы всей системы сборных шин в РУ-10 кВ.

В РУ-10 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская», установлено следующее основное силовое оборудование в виде масляных горшковых выключателей марки ВМГ-133-20/630(1600) У1 – всего в схеме предусмотрено два вводных выключателя (в нормальном режиме оперативной схемы включены), один секционный выключатель (в нормальном режиме оперативной схемы отключён), а также линейные выключатели по числу отходящих линий (по четыре от каждой секции сборных шин 10 кВ).

В РУ-10 кВ подстанции данные выключатели высокого напряжения являются устаревшим и изношенным оборудованием, требующим замены на современные типы выключателей в результате модернизации.

Так как РУ-10 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» конструктивно выполнено в виде «комплектного распределительного устройства наружной установки (далее КРУН), то разъединители в его схеме не устанавливаются, так как они заменены на втычные контакты» ячеек.

Кроме основного силового оборудования, в РУ-10 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская», также установлено следующее современное оборудование для питания вторичных цепей и защиты от атмосферных перенапряжений, также не нуждающееся в модернизации (графический лист 1):

- измерительные трансформаторы тока марки ТЛК-10-630(1600)/5 У1;
- измерительные трансформатор напряжения марки ЗНОЛ.06-10 У3;

- ограничители перенапряжения марки ОПН-10/11,5/10/400 УХЛ1 (только для защиты ТН);
- предохранители для защиты ТН марки ПКТ-101-10-У3.

Для обеспечения потребности собственных нужд, на ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» установлены два трансформатора собственных нужд (далее – ТСН) марки ТМ-40/10.

От них получают питания цепи обогрева, освещения, сигнализации, а также некоторые цепи управления оборудованием подстанции.

Причём действующие ТСН были установлены на ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области в 2020 году вместе с проведением других мероприятий по модернизации и реконструкции оборудования вторичных цепей подстанции, описанных выше.

Следующим основным элементом структурной схемы ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области являются её потребители. Согласно результатам проведённого анализа, среди потребителей преобладают приёмники со 2 категорией надёжности (около 60%), поэтому их необходимо обеспечить качественной электроэнергией без перерыва. Также среди потребителей подстанции есть приёмники, относящиеся к 1 категории надёжности (около 15%) и 3 категории надёжности (все остальные – около 35%). При этом питание потребителей ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области осуществляется сразу на двух номинальных напряжениях – 35 кВ и 10 кВ. Таким образом, в схеме подстанции присутствуют следующие отходящие линии к потребителям:

- на напряжении 35 кВ – от первой СШ 35 кВ получают питание две отходящие линии к потребителям, от второй СШ 35 кВ – одна отходящая линия;
- на напряжении 10 кВ – от каждой секции шин СШ 10 кВ получают питание по четыре отходящие линии к потребителям.

Технические данные нагрузки потребителей подстанции ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные нагрузки потребителей ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области

Секция сборных шин и номинальное напряжение	Наименование потребителя секции сборных шин	P _м , кВт
Нагрузка РУ-35 кВ		
СШ-I 35 кВ	1.35	11500
Всего по СШ-I 35 кВ		11500
СШ-II 35 кВ	2.35	7600
	3.35	6500
Всего по СШ-II 35 кВ		14100
Всего по РУ-35 кВ		25600
Нагрузка РУ-10 кВ		
СШ-I 10 кВ	1.10	1200
	2.10	900
	3.10	1100
	4.10	1000
Всего по СШ-I 10 кВ		4200
СШ-II 10 кВ	5.10	1200
	6.10	900
	7.10	1100
	8.10	1000
Всего по СШ-II 10 кВ		4200
Всего по РУ-10 кВ		8400
Всего по ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская»		34000

Таким образом, в работе было приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», с анализом технических данных нагрузки потребителей и основных составляющих структурной схемы подстанции.

В результате проведения анализа технической информации, установлено, что схема первичных соединений ОРУ-110 кВ подстанции нуждается в реконструкции, так как не обеспечивает необходимого уровня надёжности при питании потребителей.

Также установлено, что в ОРУ-110 кВ и ОРУ-35 кВ подстанции необходима модернизация некоторого основного оборудования.

Исходная схема электрических соединений ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» до проведения её реконструкции схемы первичных соединений ОРУ-110 кВ и модернизации оборудования, приведена в работе на графическом листе 1.

1.2 Анализ требований к подстанциям энергетических систем

Для разработки качественного проекта реконструкции схемы электрических соединений ОРУ-110 кВ с учётом модернизации оборудования распределительных устройств ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», необходимо провести аналитический обзор основных требований, предъявляемых к трансформаторным подстанциям систем электроснабжения нормативными положениями документов и законов.

«Известно, что система электроснабжения потребителей с актуальными понизительными трансформаторными подстанциями переменного тока, очень часто встречается в энергетических системах.

Это узлы, исполняющие огромную роль в системе передачи электроэнергии, выполняющие регулирование, распределение, транзит и понижение напряжения до необходимого уровня.

В следствии, актуальные в наше время понизительные трансформаторные подстанции переменного тока работают по принципу «источник – потребитель».

Их задача соответствовать необходимым характеристикам по надёжности, обладать качественной передачей электроэнергии и бюджетностью, ссылаясь на требования отрасли [10].

Огромная система будет нести заметные финансовые и технические потери, при нарушении правильного процесса передачи электроэнергии, что является недопустимым условием.

Своевременная реконструкция, модернизация схем и оборудования подстанций в современных энергосистемах определяет актуальность данной работы, является актуальной задачей, в результате которой устраняются указанные недостатки. Эта идея определяет актуальность данной работы.

При передачи электроэнергии потребителям, трансформаторные подстанции являются связующим звеном в трансформации электроэнергии. Они состоят из трёх основных компонент, в каждой из которых должны

соблюдаться условия надёжности и экономичности при передаче электроэнергии потребителям.

Понизительные подстанции являются важнейшим звеном при передаче и распределении электроэнергии при использовании «классической схемы» распределения электроэнергии в энергосистеме. Они являются связующим звеном при передаче электроэнергии между источником её производства и потребителями.

«Любая понизительная подстанция энергосистемы представляет собой совокупность силовых трансформаторов (как правило – один или два) и распределительных устройств, которых, как правило, столько, сколько классов напряжения присутствует на понизительной подстанции (как правило, не менее двух)» [12].

На понизительных подстанциях не часто встречаются более двух трансформаторов. Производят технико-экономические расчеты, для выяснения целесообразности их использования.

Взаимосвязь часто встречающейся трансформаторной подстанции систем электроснабжения представлена на рисунке 2.

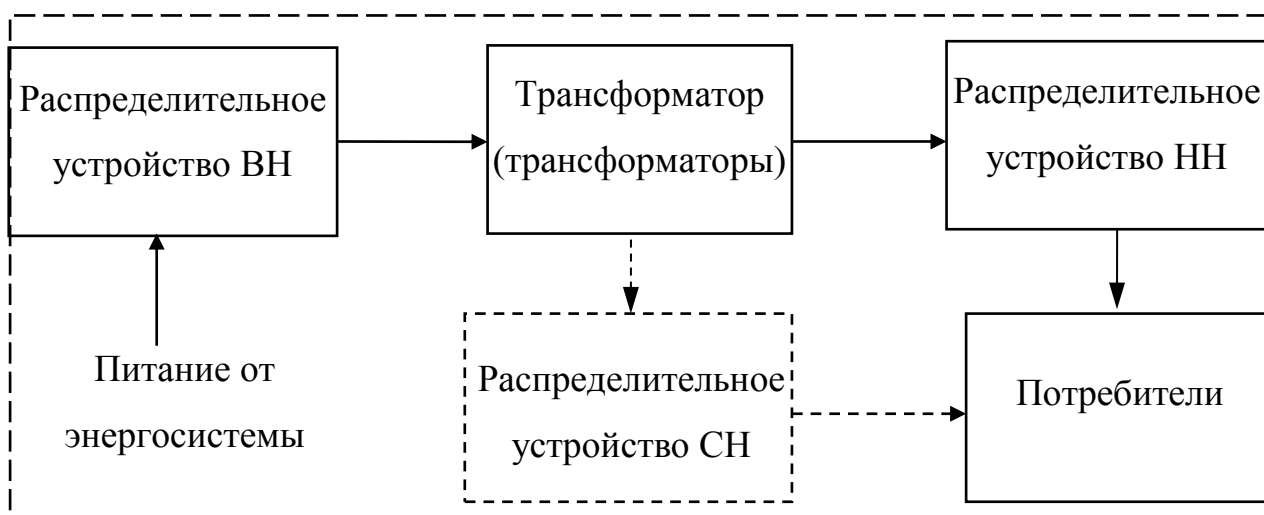


Рисунок 2 – Структура типичной трансформаторной подстанции систем электроснабжения

«Известно, что трансформаторные подстанции большинства

энергетических систем, являются важнейшим звеном и относятся к I и II категориям надёжности» [17].

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

- бесперебойное питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности с необходимым уровнем резервирования;
- 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, на трансформаторных подстанциях энергосистем должна быть предусмотрена отдельная система (подсистема) электроснабжения для питания отдельно каждого вида потребителей на переменном токе» [16]. «Такая система будет удовлетворять всем требованиям нормативных документов с учётом питания разноимённых потребителей, относящихся к 1 и 2 категориям надёжности» [17].

Известно, что «основные нормы и требования, которые предъявляются к схемам и оборудованию трансформаторных подстанций энергосистем, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований» [3,7,11]:

- условия надёжности и бесперебойности питания потребителей соответствующих категорий;
- нормы электробезопасности при выполнении электромонтажных, ремонтных работ и работ по обслуживанию и осмотру всего

оборудования подстанций;

- применение резервирования на всех ответственных участках распределительной, питающей сети и потребителей подстанции, отказ от системы «холодного» резерва;
- применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах подстанции;
- применение стандартных разработанных схем распределительных устройств и подстанций, в которые изменения должны быть обоснованы только расчётным технико-экономическим путём;
- обеспечения коммутационной способности оборудования распределительных устройств подстанции (путём установки коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах подстанций);
- автоматизация силового, контрольного, измерительного оборудования путём внедрения средств и устройств автоматики в схемы нормальных режимов подстанций;
- применение современных средств автоматизации на всех уровнях и звеньях подстанций: телеизмерений, автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии, автоматизированных систем управления режимами, электроснабжением подстанций.

Таким образом, показано, что неукоснительное выполнение основных требований и аспектов к схемам и основному оборудованию трансформаторных подстанций и энергосистем приводит к реализации технически грамотного проекта, обеспечивающего высокую эффективность внедрения принятых решений и экономическую целесообразность внедрения основных мероприятий требуемой реконструкции схемы электрических соединений ОРУ-110 кВ и модернизации электрической части объекта проектирования, которым в работе является ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

1.3 Обоснование предложений по реконструкции подстанции

Далее в работе, на основе исходных данных и аналитического обзора требований к подстанциям энергетических систем, проводится обоснование предложений по реконструкции подстанции.

В результате проведения анализа схемы подстанции, был установлен тот факт, что в РУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» применяется схема «Два блока с выключателями и автоматической перемычкой» (схема «4Н»), которая недостаточно надёжна для резервирования питания в системе обеспечения электроэнергией потребителей всего Корсаковского района, потому что не обеспечивает все необходимые условия и требования нормативных документов для обеспечения резервирования других подстанций с учётом возможных перетоков мощности и транзита электроэнергии к ним, в виду отсутствия резервирования в ОРУ-110 кВ для обеспечения данных условий в централизованной электрической сети Корсаковского района.

В виду того, что данное обстоятельство также вызывает массу неудобств при выводе в ремонт оборудования ОРУ-110 кВ, а также в послеаварийном режиме при повреждении одной из питающих линий либо одного и более звеньев в ОРУ-110 кВ, такая схема электрических соединений нуждается в реконструкции путём её преобразования к виду, который характеризуется отсутствием указанных выше недостатков.

Поэтому в работе предлагается провести реконструкцию схемы ОРУ-110 кВ подстанции с заменой её со схемы «4Н» на схему «5Н» (схема «Мостика с автоматической перемычкой»).

Данная схема 5Н для применения в РУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» характеризуется значительно большей надёжностью, безаварийностью, степенью обеспечения резервирования, а также перетоков и транзита мощности к другим подстанциям (или от них) в случае необходимости. Сравнение схем «4Н» и «5Н» представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение схем «4Н» и «5Н» с целью обоснования выбора в ОРУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Вид схемы/ характеристика	Высокая надёжность	Обеспечение транзита мощности без отключения части потребителей	Гибкость	Возможность вывода в ремонт оборудования без отключения
«4Н»(исходная схема РУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская»)	Частично	Нет	Частично	Частично
«5Н»(предлагаемая схема РУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская»)	Да	Да	Да	Да

Таким образом, на основе проведённого сравнительного анализа в таблице 2, показано, что предлагаемая схема электрических соединений «5Н», при применении в ОРУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» обеспечит гораздо более высокие условия надёжности, гибкости и бесперебойности с учётом резервирования, чем исходная схема «4Н». Данная схема ОРУ-110 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская». принимается за основу в работе далее.

В ходе проведения анализа было выяснено, что в силовой части РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, располагаются электрические аппараты, утратившие свой ресурс и актуальность, которые в срочном порядке нуждаются в замене на современные аналоги соответствующих типов. Оборудование предлагается в работе заменить их на новые, современные модификации, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью. Данный вопрос требует срочного решения, так как в системе электроснабжения РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» в последние годы участились аварии, вызванные потерей надёжности в связи с износом силового оборудования. Следовательно, решение данного вопроса носит актуальный характер. Сводный анализ данных по замене оборудования распределительных устройств в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ на рассматриваемой подстанции ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области сведён в таблицу 3.

Таблица 3 – Сводный анализ данных по замене оборудования распределительных устройств в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ на ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области

Место установки оборудования	Наименование оборудования	Причина замены оборудования	Примечание
РУ-110 кВ	Масляные баковые выключатели МКП-110-1000/630-20	Устаревшее, изношенное оборудование	Замена на современный тип выключателей
РУ-110 кВ	Разъединители РНДЗ 2-СК-110/1000У1	Устаревшее, изношенное оборудование	Замена на современный тип разъединителей
РУ-110 кВ	Вентильные разрядники РВС-110	Устаревшее, изношенное оборудование	Замена на современный тип ОПН
РУ-10 кВ	Масляные горшковые выключатели ВМГ-133-20/630(1600) У1	Устаревшее, изношенное оборудование	Замена на современный тип выключателей
РУ-10 кВ	ОПН-10 кВ	-	Дополнительная установка в ячейки выключателей (в случае их замены на вакуумные)

Так как оборудование РУ-35 кВ ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» современное и отвечает всем требованиям по надёжности и экономичности, следовательно, его модернизация в работе не проводится.

Внедрение мероприятий по модернизации оборудования будет иметь значительный технико-экономический эффект, так как позволит предотвратить возникновение аварий оборудования электрической части ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, 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 ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области, что также принесёт эффект как технический, так и экономический. Предложенная модернизация снабдит намного высоким уровнем надёжности с применением условий надёжности и разделения, что очень хорошо повлияет на непрерывное электроснабжение потребителей всего района.

Выводы по разделу 1.

В работе было приведено описание, а также последующий анализ исходной схемы электрических соединений ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима и основному оборудованию понизительных подстанций энергосистемы.

На основании полученных аналитических данных проведённого анализа, установлено, что в работе рекомендуется внедрить предложенные мероприятия по реконструкции объекта исследования, которые носят комплексный характер и заключаются в практической реализации следующих рекомендаций:

- реконструкция схемы главных электрических соединений нормального режима ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», путём изменения исходной схемы электрических соединений ОРУ-110 кВ подстанций со схемы «4Н» на новую схему «5Н». Данный аспект связан с несоответствием схемы ОРУ-110 кВ условиям бесперебойности электроснабжения и надёжности для резервирования питания в системе обеспечения электроэнергией потребителей всего Корсаковского района, а также проблемами технического характера при выводе оборудования в ремонт без отключения потребителей и при возникновении аварийных режимов;
- модернизация оборудования ОРУ-110 кВ и ячеек РУ-10 кВ. Данный аспект связан с тем, что указанное оборудование значительно устарело, вследствие чего утратило свой технический коммутационный и защитный ресурс, что сказывается на работоспособности всей системы электроснабжения ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Все рекомендации проверяются расчётно-аналитическим способом.

2 Реконструкция электрической части подстанции

2.1 Расчёт электрических нагрузок подстанции

Далее в работе, для достижения поставленной цели необходимо провести определение расчётных электрических нагрузок, которые далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

При этом, в силу того факта, что нагрузка ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области распределяется на два класса напряжения (35 кВ и 10 кВ), расчёт нагрузок проводится для каждого класса отдельно.

В работе расчёту подлежат значения активной, реактивной и полной расчётных нагрузок одиночных присоединений потребителей подстанции, систем сборных шин, а также всей подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Как известно, расчётный ток нагрузки нормального режима также относится к электрическим нагрузкам, поэтому в работе он также подлежит определению.

«Активная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»» [11]:

$$P_{np} = K_3 \cdot P_m, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где P_m – максимальная активная нагрузка присоединений потребителей напряжением 10 кВ электрической части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», кВт (по данным энергосистемы);

K_3 – «коэффициент загрузки потребителей напряжением 10 кВ электрической части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», о.е.» [6].

Реактивная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» [11]:

$$Q_{np} = P_{np} \cdot tg\varphi, \quad (2)$$

где $tg \varphi$ – нормируемый текущий коэффициент реактивной мощности, соответствующий текущему значению коэффициента активной мощности системы ($cos \varphi$). «С учётом компенсации реактивной мощности до нормируемого значения $cos \varphi = 0,93$, в работе принимается соответствующее ему значение $tg \varphi = 0,4$ » [8].

«Реактивная полная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»» [11]:

$$S_{np} = \sqrt{P_{np}^2 + Q_{np}^2}. \quad (3)$$

«Расчётный ток нормального режима одиночных присоединений потребителей электрической части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»» [11]:

$$I_{np} = \frac{S_{np}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (4)$$

где $U_{ном.}$ – номинальное напряжение сети, кВ [1].

На основании известных выражений (1) – (4) для расчёта электрических нагрузок, проводится практический расчёт активной, реактивной, полной

нагрузок, а также расчётного тока нагрузки нормального режима, для всех одиночных присоединений потребителей ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Таким образом, проводится практический расчёт нагрузки одиночных присоединений подстанции на примере присоединения одиночных потребителей напряжением 35 кВ в ОРУ-35 кВ «35.1» ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

По условию (1) расчётная активная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «35.1» ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$P_{np} = 11500 \cdot 1 = 11500 \text{ кВт.}$$

По условию (2) расчётная реактивная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «35.1» ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$Q_{np} = 11500 \cdot 0,4 = 4600 \text{ квар.}$$

По условию (3) расчётная полная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «35.1» ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$S_{np} = \sqrt{11500^2 + 4600^2} \approx 12386 \text{ кВА.}$$

По условию (4) расчётное значение тока нагрузки нормального режима первого присоединения одиночных потребителей «35.1» ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$I_{np} = \frac{12386}{\sqrt{3} \cdot 35} = 204,3 \text{ А.}$$

Точно также произведён расчёт электрических нагрузок оставшихся присоединений потребителей РУ-35 кВ, РУ-10 кВ понизительной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» с приведением результатов расчёта в форме таблицы 4.

Также в таблице 4 расчёт суммарной нагрузки секций сборных шин РУ-35 кВ, РУ-10 кВ и всей подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» «проводится с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузки согласно» [14].

Таблица 4 – Результаты расчёта электрических нагрузок ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Секция сборных шин РУ подстанции	Наименование потребителя	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Нагрузка РУ-35 кВ					
СШ-I 35 кВ	1.35	11500	4600	12386,0	204,3
Всего по СШ-I 35 кВ ($K_o = 0,85$)		9775	3910	10528,0	173,7
СШ-II 35 кВ	2.35	7600	3040	8185,5	135,0
	3.35	6500	2600	7000,1	115,5
Всего по СШ-II 35 кВ ($K_o = 0,85$)		11985	4794	12908,2	212,9
Всего по РУ-35 кВ ($K_o = 0,85$)		21760	8704	23436,0	386,6
Нагрузка РУ-10 кВ					
СШ-I 10 кВ	1.10	1200	480	1292,4	74,7
	2.10	900	360	969,3	56,0
	3.10	1100	440	1184,7	68,5
	4.10	1000	400	1077,0	62,3
Всего по СШ-I 10 кВ ($K_o = 0,85$)		3570	1428	3845,0	222,3
СШ-II 10 кВ	5.10	1200	480	1292,4	74,7
	6.10	900	360	969,3	56,0
	7.10	1100	440	1184,7	68,5
	8.10	1000	400	1077,0	62,3
Всего по СШ-II 10 кВ ($K_o = 0,85$)		3570	1428	3845,0	222,3
Всего по РУ-10 кВ ($K_o = 0,85$)		6069	2427,6	6536,5	377,8
Всего по ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» ($K_o = 0,85$)		27829	11132	29973	764,4

Таким образом, значение расчётной активной нагрузки секций сборных шин РУ-35 кВ, РУ-10 кВ и всей электрической части подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» [11]:

$$P_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n P_{np}, \quad (5)$$

где $\sum_{i=1}^n P_{np}$ – суммарная активная нагрузка всех присоединений,

получающих питание от секций сборных шин электрической части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»;

K_0 – значение коэффициента одновременности максимумов нагрузки на шинах РУ-35 кВ, РУ-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская». «Принимается с вероятностью не менее 95% $K_0=0,85$ » [14].

«Значение расчётной реактивной нагрузки секций сборных шин РУ-35 кВ, РУ-10 кВ» и всей подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» [11]:

$$Q_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n Q_{np}, \quad (6)$$

где $\sum_{i=1}^n Q_{np}$ – суммарная реактивная нагрузка всех присоединений,

получающих питание от секций сборных шин электрической части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

«Значение расчётной полной нагрузки секций сборных шин РУ-35 кВ, РУ-10 кВ и всей реконструируемой ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»» [11]:

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

«Значение расчётного рабочего тока нормального режима секций сборных шин РУ-35 кВ, РУ-10 кВ» и всей реконструируемой ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» [11]:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (8)$$

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей, секций сборных шин 35 кВ и 10 кВ, а также всей понизительной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области в целом, используются в работе далее.

2.2 Расчёт мощности и выбор силовых трансформаторов подстанции

Исходя из исходных технических данных установлено, что на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области установлены два силовых трёхобмоточных трансформатора марки ТДТН-40000/110.

Оба силовые трансформатора на понизительной подстанции переменного напряжения ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области находятся в рабочем исправном состоянии и периодически проходили регламентные текущие и капитальные ремонты. Поэтому на данный момент они полностью обслужены и пригодны к работе.

Проводится предварительная проверка правильности выбора силовых трансформаторов ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская», исходя из значения максимальной нагрузки подстанции.

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.

По суточным графикам потребления полной мощности сетей среднего и

низкого напряжения определяется суммарной суточный график потребления полной суммарной мощности силовых трансформаторов» на понизительной подстанции переменного напряжения ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области.

Фактический суточный график нагрузочной способности силовых трансформаторов на понизительной подстанции переменного напряжения ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области для зимы (фиолетовый цвет) и для лета (красный цвет) представлен на рисунке 3.

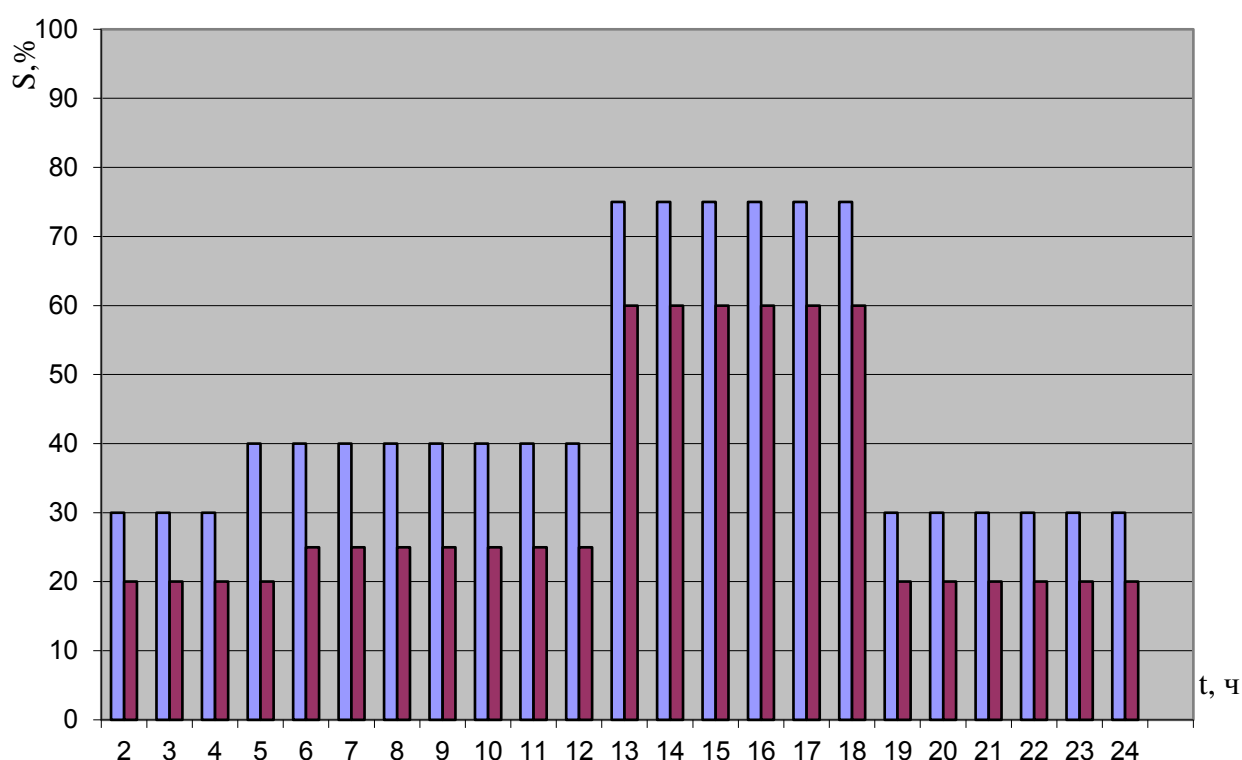


Рисунок 3 – Фактический суточный график нагрузочной способности силовых трансформаторов ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области для зимы (фиолетовый цвет) и для лета (красный цвет)

Исходя из фактических значений графика нагрузки, представленного на рисунке 3, можно сделать вывод, что нагрузка для зимних месяцев превышает нагрузку летних месяцев.

Следовательно, для дальнейших расчётов принимаются значения нагрузки для зимних месяцев суточного графика нагрузочной способности силовых трансформаторов понизительной подстанции переменного

напряжения ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области.

Далее в графике нагрузки силового трансформатора ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» необходимо определить основные ступени.

Исходя из графика нагрузки для зимних месяцев, установлено, что таких ступеней на графике нагрузки четыре.

Исходный расчётный суточный график нагрузки силового трансформатора ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинской области для зимних месяцев, в %, и с указанием основных четырёх ступеней нагрузки, представлен на рисунке 4.

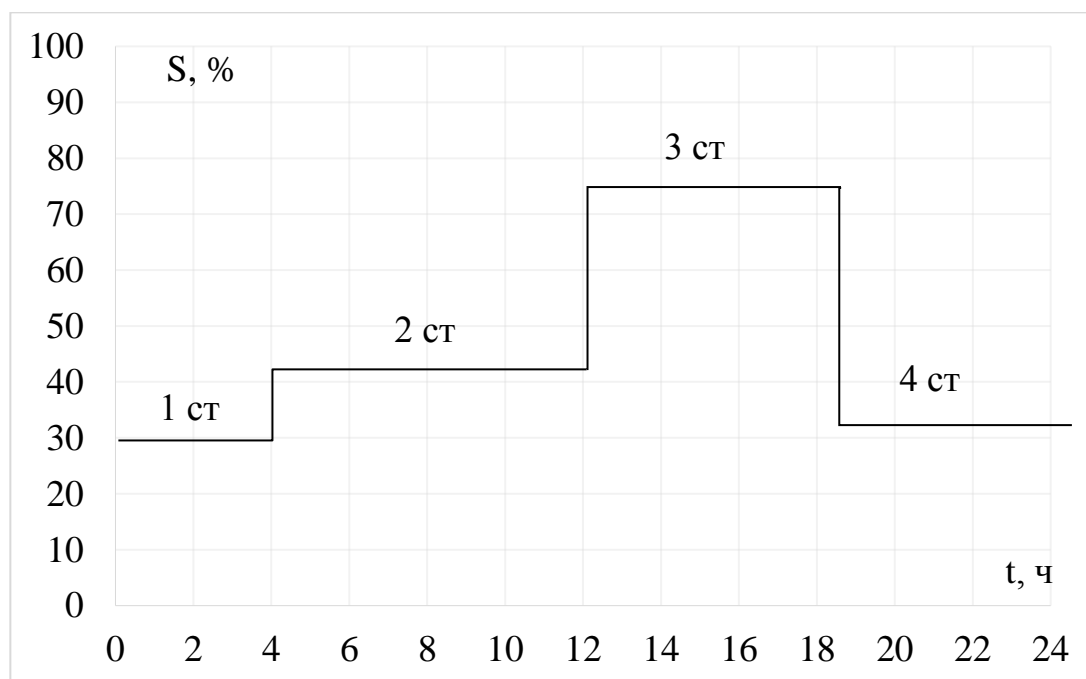


Рисунок 4 – Исходный расчётный суточный график нагрузки силового трансформатора ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Как было указано ранее, на исходном расчётном графике нагрузки силовых трансформаторов присутствует четыре основные ступени, поэтому проводится расчёт для каждой ступени данного графика. Для определения суммарной нагрузки ступени суточного графика нагрузки силовых трансформаторов, в кВА, на понизительной подстанции переменного напряжения ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» применяется формула:

$$S_{\Sigma i} = \frac{S_{CH} \cdot X}{100} + \frac{S_{HH} \cdot X}{100} = \frac{S_{ТП} \cdot X}{100}, \text{кВА}, \quad (9)$$

где S_{Σ} – суммарная передаваемая мощность ступени, МВА;

S_{CH}, S_{HH} – полная мощность, передаваемая в сеть, соответственно, среднего (35 кВ) и низшего (10 кВ) напряжения, МВА;

$S_{ТП}$ – полная мощность, передаваемая в сеть, всей ТП-110/35/10 кВ, МВА;

X – процентное значение мощности, потребляемое на соответствующей ступени графика нагрузок, %.

Таким образом, проводится расчёт суммарной нагрузки ступени суточного графика нагрузки силовых трансформаторов, в кВА, на понизительной подстанции переменного напряжения ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» по условию (9).

Для 1 ступени (0-4 ч) и 4 ступени (18-24 ч):

$$S_{\Sigma 1,4} = \frac{29,973 \cdot 30}{100} = 8,99 \approx 9 \text{ МВА}.$$

Для 2 ступени (4-12 ч):

$$S_{\Sigma 2} = \frac{29,973 \cdot 40}{100} = 11,99 \approx 12 \text{ МВА}.$$

Для 3 ступени (12-18 ч):

$$S_{\Sigma 3} = \frac{29,973 \cdot 75}{100} = 22,48 \approx 22,5 \text{ МВА}.$$

Рассчитанные данные ступеней суточного графика нагрузки силового

трансформатора, в МВА, сводятся в таблицу 5.

Таблица 5 – Рассчитанные данные ступеней суточного графика нагрузки силового трансформатора ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Ступень графика нагрузки трансформатора ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»	Время продолжения ступени графика нагрузки ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», t, ч	Полная мощность ступени по графику нагрузки ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», S, МВА
1	0-4	9,0
2	4-12	12,0
3	12-18	22,5
4	18-24	9,0

Все полученные значения нагрузок ступеней, с учётом их продолжительности, откладываются на рисунке 5.

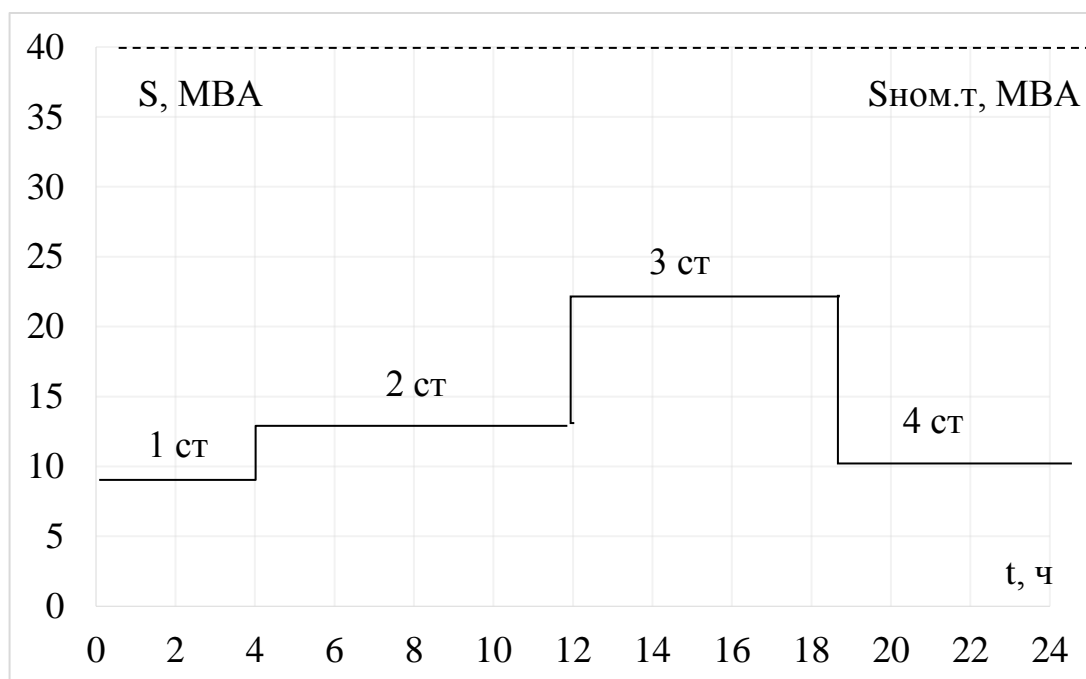


Рисунок 5 – Суточный график нагрузки силового трансформатора, с рассчитанными данными основных ступеней, в МВА

Осуществляется преобразование суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» в эквивалентный график нагрузки. Согласно [12], «нормальная загрузка силового трансформатора при расчётах принимается равной 0,7».

Следовательно, исходя из этого, третья ступень графика нагрузки может быть условно принята как перегрузка трансформатора с временем перегрузки, равном 6 ч. Все остальные ступени графика нагрузки будут составлять нормальную загрузку трансформатора.

Определяются значение ступени нормальной нагрузки эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$S_H = \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}, o.e. \quad (10)$$

По (10) для силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$S_H = \sqrt{\frac{9^2 \cdot 4 + 9^2 \cdot 6 + 12^2 \cdot 8}{18}} \approx 10,4 \text{ МВА.}$$

Определяются значение ступени перегрузки эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», исходя из условия:

$$S_{II} = \sqrt{\frac{(S'_1)^2 \Delta h_1 + (S'_2)^2 \Delta h_2 + \dots + (S'_p)^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}}, o.e. \quad (11)$$

По условию (11) для силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$S_{II} = \sqrt{\frac{22,5^2 \cdot 6}{6}} \approx 22,4 \text{ МВА.}$$

Далее определяются коэффициенты нормальной нагрузки (систематической) и допустимой аварийной перегрузки силовых трансформаторов подстанции.

Значение коэффициента начальной нагрузки (коэффициент систематических нагрузок) K_1 эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» определяется так:

$$K_1 = \frac{S_H}{S_{ном}}, о.е. \quad (12)$$

По (12) для силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$K_1 = \frac{10,4}{40} = 0,26 о.е.$$

Значение расчётного коэффициента допустимой аварийной перегрузки K'_2 эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» определяется, исходя из условия:

$$K'_2 = \frac{S_{II}}{S_{ном}}, о.е. \quad (13)$$

По (13) для трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$K'_2 = \frac{22,4}{40} \approx 0,56.$$

Все полученные числовые значения эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», включая значения расчётных коэффициентов нормальной нагрузки K_1 и допустимой перегрузки K'_2 , показаны на рисунке 6.

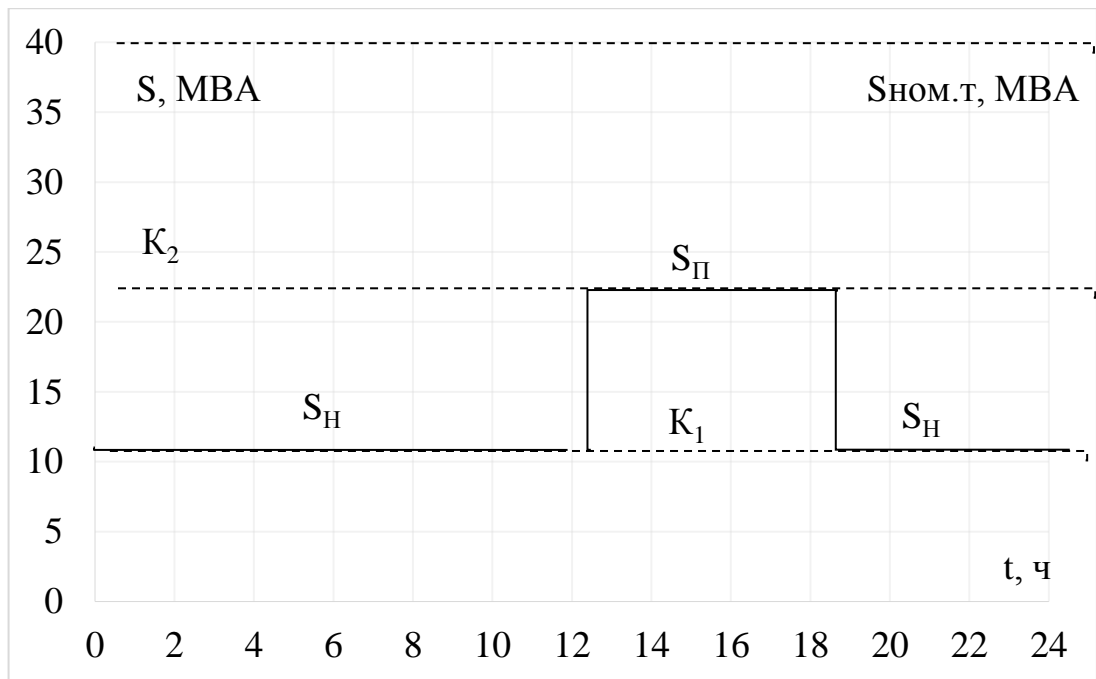


Рисунок 6 – Значения эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Для допустимых аварийных перегрузок силового трансформатора ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» при системе охлаждения типа Д, для Сахалинской области РФ при $\theta_{охл} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$, с учётом полученного расчётного коэффициента аварийной перегрузки трансформатора $K_2' = 0,56$, а также времени перегрузки 6 ч, определяется по справочным данным «нормируемое (стандартное) значение $K_{2\text{дон}} \approx 1,25$, что превышает полученное значение расчётного коэффициента фактической перегрузки силовых трансформаторов подстанции» [12].

Следовательно, аварийная перегрузка силовых трансформаторов находится в допустимых пределах.

Проверка для силовых трансформаторов подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» на допустимую перегрузку с учётом коэффициента аварийной перегрузки:

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{max}} \cdot K_{2\text{дон}} \tag{14}$$

Таким образом, проверка по (14):

$$29,973 \text{ MVA} \leq 40 \cdot 1,25 = 50 \text{ MVA}.$$

Условие проверки для силовых трансформаторов подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» на допустимую перегрузку с учётом коэффициента аварийной перегрузки выполняется.

2.3 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах подстанции.

Следовательно, так как в схеме объекта исследования номинальных ступеней напряжения три (110 кВ, 35 кВ и 10 кВ), то производится расчёт токов КЗ используя максимальный режим работы (режим трёхфазного КЗ). В этом режиме на подстанции в работе остаётся только один силовой трансформатор.

Также расчёту в работе подлежит ток двухфазного КЗ, который принимается как минимальный ток короткого замыкания при проверке чувствительности релейной защиты.

Исходя из того, что на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» используются два одинаковые по номинальным характеристикам и мощности силовые трансформаторы, то, результаты расчёта токов короткого замыкания в сети 35 кВ и 10 кВ будут иметь небольшие погрешности либо равнозначны .

Особенностью максимального послеаварийного режима является то, что в этом режиме на подстанции в работе остаётся только один силовой

трансформатор, который, по условиям резервирования, должен обеспечить питание всей нагрузки подстанции на напряжениях 35 кВ и 10 кВ.

Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» в работе представлена на рисунке 7.

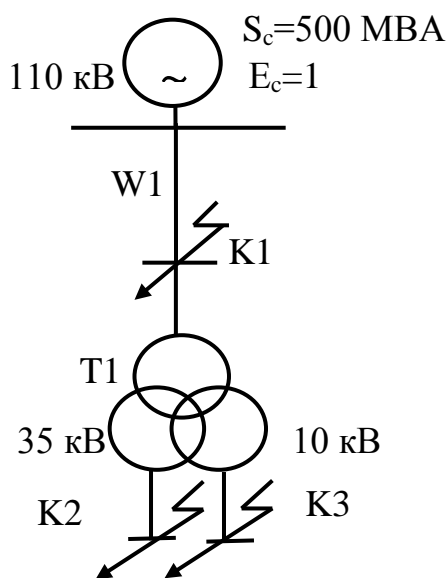


Рисунок 7 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов.

«Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь» [17].

«В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь» [12].

Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети.

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

Схема замещения цепи КЗ, составленная, исходя из расчётной схемы, представлена на рисунке 8.

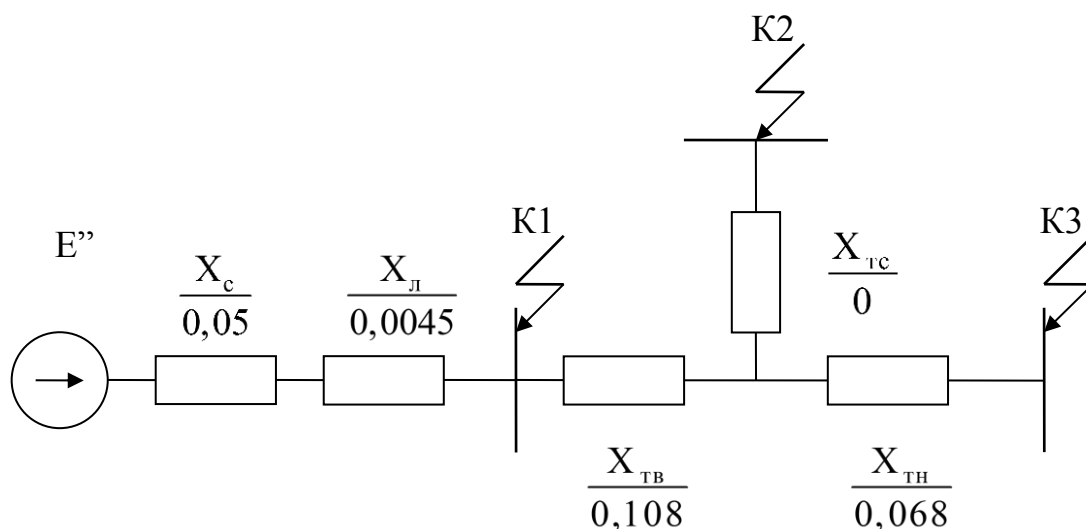


Рисунок 8 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ на подстанции

«Расчет токов короткого замыкания в работе проводится в относительных единицах» по методике, приведённой в [12].

Для проведения расчёта, на первом этапе принимаются базисные условия.

Для расчета выбирается ступень высшего напряжения - 110 кВ в качестве основной базисной.

Номинальная мощность силового трансформатора ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», оставшегося в работе в послеаварийном режиме соответствует базисной мощности (при этом второй трансформатор подстанции отключён, что отображено в расчётной схеме и схеме замещения, а также учтено при расчётах далее):

$$S_{\sigma} = 40000 \text{ кВА} = 40 \text{ МВА}.$$

Проводится выбор базисных напряжений для всех трёх ступеней трансформации в схеме (110 кВ, 35 кВ и 10 кВ). В работе они принимаются в 1,05 раза выше соответствующих номинальных напряжений [17].

Базисное напряжение для ступени высшего напряжения 110 кВ (основная ступень):

$$U_{\sigma 1} = 115 \text{ кВ}.$$

Базисное напряжение для ступени среднего напряжения 35 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\sigma 2} = 38,5 \text{ кВ}.$$

Базисное напряжение для ступени низшего напряжения 10 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\sigma 3} = 11 \text{ кВ}.$$

Базисный ток рассчитывается по известной формуле:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (15)$$

Проводится расчёт базисного тока для всех трёх ступеней трансформации в схеме (110 кВ, 35 кВ и 10 кВ) с учётом дальнейшего приведения к базисной мощности (мощность силового трансформатора подстанции).

Базисный ток для ступени высшего напряжения 110 кВ (основная ступень):

$$I_{\sigma 1} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,2 \text{ кА.}$$

Базисный ток для ступени среднего напряжения 35 кВ (неосновная ступень):

$$I_{\sigma 2} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 0,6 \text{ кА.}$$

Базисный ток для ступени низшего напряжения 10 кВ (неосновная ступень):

$$I_{\sigma 1} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 11} = 2,1 \text{ кА.}$$

Далее проводится расчёт параметров схемы замещения ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» в относительных единицах, с последующим приведением их к именованному.

Сопротивление энергосистемы определяется по формуле:

$$x_{c*} = \frac{S_{\sigma}''}{S_{\kappa}}, \text{ o.e.}, \quad (16)$$

где S_{κ}'' - полная мощность трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы (по данным энергосистемы).

По условию (16):

$$x_{c*} = \frac{40}{500} = 0,08 \text{ o.e.}$$

Сопrotивление питающей ВЛ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» с учётом её длины, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям:

$$x_{*l} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}, \text{ o.e.}, \quad (17)$$

где x_0 - удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км [10];

L - суммарная длина ВЛ, км.

Исходя из условия (17), индуктивное сопротивление для питающей ВЛ-110 кВ:

$$x_{*l} = 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{40}{115^2} = 0,007 \text{ o.e.}$$

Далее проводится «расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям» [12].

На подстанции применяются трёхобмоточные силовые трансформаторы, расчёты схемы замещения которых отличаются от соответствующих расчётов для стандартных двухобмоточных трансформаторов.

«Относительные сопротивления лучей схемы замещения трехобмоточного трансформатора, приведенные к базисным условиям» [12]:

$$x_{*mv} = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{ном}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{к.вн}, \% + U_{к.вс}, \% - U_{к.сн}, \%)}{100}. \quad (18)$$

$$x_{*ms} = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{ном}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{к.вс}, \% + U_{к.сн}, \% - U_{к.вн}, \%)}{100}. \quad (19)$$

$$x_{mn}^* = \frac{S_{\delta}}{S_{ном}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{к.вн}, \% + U_{к.сн}, \% - U_{к.вс}, \%)}{100}. \quad (20)$$

Проводятся соответствующие расчёты, в результате которых определяются относительные сопротивления лучей схемы замещения трехобмоточного трансформатора, приведенные к базисным условиям:

$$x_{mv}^* = \frac{40}{40} \cdot \frac{0,5 \cdot (17,5 + 10,5 - 6,5)}{100} = 0,108 \text{ о.е.}$$

$$x_{ms}^* = \frac{40}{40} \cdot \frac{0,5 \cdot (10,5 + 6,5 - 17,5)}{100} = -0,0025 \approx 0 \text{ о.е.}$$

$$x_{mn}^* = \frac{40}{40} \cdot \frac{0,5 \cdot (17,5 + 6,5 - 10,5)}{100} = 0,068 \text{ о.е.}$$

Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ.

После этого «определяется начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания» [12] по следующему выражению «с учётом результирующих сопротивлений к каждой точке КЗ, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах» [12]:

$$I_K^{(3)} = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_{\delta}. \quad (21)$$

Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ. Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах:

$$x_{рез} = x_c + x_l, \text{ о.е.} \quad (22)$$

Согласно условия (22):

$$x_{рез} = 0,08 + 0,007 = 0,087 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (21):

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{1}{0,0218} \cdot 0,05 = 2,29 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_{тв} + x_{тс}, \text{ о.е.} \quad (23)$$

Согласно условия (23):

$$x_{рез} = 0,08 + 0,007 + 0,108 + 0 = 0,195 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (21):

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{1}{0,195} \cdot 0,6 = 3,08 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление к точке К3 в относительных расчётных единицах:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_{mv} + x_{mn}, \text{ o.e.} \quad (24)$$

Согласно условия (24):

$$x_{рез} = 0,08 + 0,007 + 0,108 + 0,068 = 0,263 \text{ o.e.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К3, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (21):

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{1}{0,263} \cdot 2,1 = 7,98 \approx 8 \text{ кА.}$$

Значение «ударного тока в расчётных точках схемы» [12] или начального значения аperiodической составляющей тока К3 в максимальном режиме:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{уд} \cdot I_K^{(3)}, \text{ кА}, \quad (25)$$

где $\kappa_{уд}$ – «ударный коэффициент» [12].

По условию (25) для расчётных точек схемы К1 и К2, значение ударных токов (начального значения аperiodической составляющей тока К3) в именованных единицах:

– в точке К1:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 2,29 = 5,51 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 3,08 = 6,1 \text{ кА.}$$

– в точке К3:

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1,25 \cdot 8 = 14,1 \text{ кА.}$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА.} \quad (26)$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА, по условию (26):

– в точке К1:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,29 = 1,98 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,08 = 2,67 \text{ кА.}$$

– в точке К3:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,0 = 6,93 \text{ кА.}$$

Все полученные в работе «результаты расчёта токов короткого замыкания в максимальном режиме (начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания), а также величины ударных токов (начального значения аperiodической составляющей тока КЗ) и значения минимального расчётного тока двухфазного короткого замыкания», полученные в результате расчёта на шинах 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы» ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта токов короткого замыкания, а также величины ударных токов, на шинах 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Параметр	Расчётная точка КЗ		
	Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_K^{(3)}$, кА	2,29	3,08	8,00
$i_{уд}$, кА	5,51	6,10	14,10
$I_K^{(2)}$, кА	1,98	2,67	6,93

Полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания, а также величины ударных токов, на шинах 110 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», используются в работе для соответствующих проверок выбранного нового оборудования распределительных устройств подстанции.

2.4 Выбор электрических проводников подстанции

Далее в работе необходимо провести проверочный расчёт проводников на питающей подстанции 110/35/10 кВ «Корсаковская».

В работе подлежат выбору и проверке провода таких воздушных линий: ВЛ-110 кВ, ВЛ-35 кВ и ВЛ-10 кВ, а также ошиновка, применяемая в данных РУ.

Все проводники на подстанции – класса напряжения выше 1 кВ, выполненные в виде воздушных линий передачи. Поэтому и методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 110 кВ и распределительных воздушных линий напряжением 35 кВ и 10 кВ, а также ошиновки в РУ-110 кВ, РУ-35 кВ и РУ-10 кВ) ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», осуществляется по известному «условию экономической плотности тока» [11]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (27)$$

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

Для проверки выбранного сечения проводников воздушных линий на понизительной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», 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]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} = 1,4 \cdot I_p. \quad (28)$$

где S_p – расчётная полная нагрузка воздушной линии, кВА;

I_p – расчётный ток нормального режима воздушной линии электропередачи (таблица 3);

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

После выбора проводника воздушных линий, необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

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

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (29)$$

где $I_{доп}$ – «предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [10].

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

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (30)$$

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

Кроме того, по механической прочности сечение проводников воздушных линий должны быть не меньше чем стандартное минимально-допустимое для выполнения условий местности по гололёду и ветру, учитывая типа опор и протяженности линии, а также коронирующего разряда (только для питающей ВЛ-110 кВ).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (31)$$

Установлено, исходя из вышеперечисленных условий, берем во внимание значения таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 [10], минимальные сечения проводов воздушных линий, выполненные с применением стандартных сталеалюминевых проводников (для климатических условий Сахалинской области РФ):

- для проводов воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ – не менее 70 мм²;
- для проводов воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ – не менее 35 мм²;
- для проводов воздушных линий электропередачи напряжением 6 (10) кВ – не менее 25 мм².

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-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Питание ТП-110/35/10 кВ «Корсаковская» осуществляется от двух независимых источников питания с применением воздушных линий следующих сечений:

- ввод 1 – от ПС-220/110/6 кВ «Южно-Сахалинская» с промежуточным резервированием отпайкой от РУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Южная» (применяется ВЛ-110 кВ с проводом АСК-120);
- ввод 2 – от РУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Хомутово» (применяется ВЛ-110 кВ с проводом АЕРО-Z-261).

Значит, необходимо провести проверочный расчёт разных ВЛ-110 кВ для питания двух одинаковых трансформаторов подстанции. «Сечение питающей воздушной линии напряжением 110 кВ выбирается, исходя из номинальной мощности силовых трансформаторов, которые от неё питаются.» [3] Как было указано ранее, на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», установлены два силовых трансформатора марки ТДТН-40000/110, проверенные на перегрузочную способность в работе ранее.

Расчётная нагрузка данных трансформаторов рассчитана в работе ранее и составляет 29973 кВА (таблица 3). В связи с этим, ток нормального режима питающей ВЛ-110 кВ для питания каждого трансформатора ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» будет определяться по условию (8):

$$I_p = \frac{29973}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 157,3 \text{ А.}$$

Расчётное минимальное сечение питающей ВЛ-110 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Корсаковская» по условию экономической плотности тока:

$$F_s = \frac{157,3}{1,1} = 143,0 \text{ мм}^2.$$

Исходя из результатов расчёта, в работе принимается минимальное наименьшее сечение провода питающей ВЛ-110 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 110/35/10 кВ «Корсаковская», равное 120 мм².

Таким образом, установлено, что сечение питающей ВЛ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», выполненное с применением проводов марок АСК-120 (ввод Т1) и АЕРО-Z-261 (ввод Т2), соответствует условиям выбора и совпадает с фактическими сечениями проводов питающей линии 110 кВ.

Так как в работе проводится проверочный расчёт провода данной линии, сечение данных проводов ВЛ-110 кВ, питающей подстанцию, принимается за основу.

Проверка провода ВЛ-110 кВ по току нормального режима выполняется:

– для питания Т1 (провод АСК-120):

$$390 \text{ А} \geq 157,3 \text{ А.}$$

– для питания Т2 (провод АЕРО-Z-261):

$$540 A \geq 157,3 A.$$

Значение максимального тока ПАВ режима провода ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» с учётом резервирования в схеме:

$$I_{p,\max} = 1,4 \cdot 157,3 \approx 220,2 A.$$

Проверка проводов питающей ВЛ-110 кВ по максимальному току ПАВ режима выполняется:

– для питания Т1 (провод АСК-120):

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

– для питания Т2 (провод АЕРО-Z-261):

$$540 A \geq 220,2 A.$$

Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» по условию коронирующего разряда и механической прочности по гололёду и ветру также выполняется:

– для питания Т1 (провод АСК-120):

$$120 \text{ мм}^2 \geq 70 \text{ мм}^2.$$

– для питания Т2 (провод АЕРО-Z-261):

$$261 \text{ мм}^2 \geq 70 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, в работе путём проведения соответствующих расчётов и проверок установлено, что сечение провода на питающей ВЛ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» с применением проводов марки АСК-120 (питание Т1) и проводов марки АЕРО-Z-261 (питание Т2), соответствует условиям выбора и совпадает с фактическими сечениями проводов питающей линии 110 кВ в реальных условиях. Проверка сечений проводов отходящих линий напряжением 10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» выполнены по аналогичной методике с приведением полученных результатов в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты проверочного расчёта проводников питающей и распределительных воздушных линий ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Линия	I_p , А	$F_{э}$, мм ²	$F_{ст}$, мм ²	$I_{p,max}$, А	Марка провода	$I_{доп.}$, А
Питающая ВЛ-110 кВ						
ВЛ-110 кВ-Т1	157,3	143,0	120	220,2	АСК-120	390
ВЛ-110 кВ-Т2	157,3	143,0	120	220,2	АЕРО-Z-261	540
Распределительные ВЛ-10 кВ						
ВЛ-35 кВ-1.35	204,3	185,7	120	286,0	АСК-120	390
ВЛ-35 кВ-2.35	115,5	105,0	120	161,7	АСК-120	390
ВЛ-35 кВ-3.35	212,9	193,5	120	296,1	АСК-120	390
Распределительные ВЛ-10 кВ						
СШ I 10 кВ						
1.10	74,7	67,9	70	104,6	АСК-70	265
2.10	56,0	50,9	70	78,4	АСК-70	265
3.10	68,5	62,3	70	95,9	АСК-70	265
4.10	62,3	56,6	70	87,2	АСК-70	265
СШ II 10 кВ						
5.10	74,7	67,9	70	104,6	АСК-70	265
6.10	56,0	50,9	70	78,4	АСК-70	265
7.10	68,5	62,3	70	95,9	АСК-70	265
8.10	62,3	56,6	70	87,2	АСК-70	265

Таким образом, в работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, подтверждены все сечения проводников питающей 110 кВ и распределительных воздушных линий 35 кВ и 10 кВ на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Выбор сборных шин распределительных устройств 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» проводится по максимальному рабочему току по приведённому ранее условию (20).

Применяются следующие виды ошиновки на подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

- в ОРУ-110 кВ – гибкая ошиновка из проводов марки АСК-120;
- в ОРУ-35 кВ – гибкая ошиновка из проводов марки АСК-120;
- в КРУН-10 кВ – жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки ШАТ.

Условие выбора и проверки ошиновки для установки в ОРУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» выполняется:

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

Аналогично выбрана и проверена жёсткие ошиновка для применения в ОРУ-35 кВ и в КРУН-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

- в ОРУ-35 кВ – гибкая ошиновка из проводов марки АСК-120, допустимый ток $I_{don} = 390 A$ [7];
- в КРУН-10 кВ – сборные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, размер – 60×6 мм, две полосы (двухполосные шины), допустимый ток $I_{don} = 1355 A$ [7].

Все выбранные проводники воздушных линий и шинных конструкций на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

Они показаны в графической части работы.

2.5 Выбор и проверка основного оборудования на подстанции

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 распределительных устройств с целью проведения модернизации ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Ранее в работе было установлено, что к электрическим устройствам имеющие большую выработку и износ временем, нуждающиеся в замене на новые актуальные аппараты подходящих марок, на подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» относятся:

- в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ горшковые и масляные баковые выключатели высокого напряжения, являющиеся устаревшими коммутационными аппаратами, которое не производится с конца 90-х годов XX века;
- в РУ-110 кВ разъединители, отработавшие свой ресурс переключений, являются крайне ненадёжными;
- в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ вентильные разрядники, уступающие современным маркам ограничителей перенапряжения (далее – ОПН).

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

При этом практическая замена оборудования проводится совместно с изменениями в схеме электрических соединений объекта, что значительно упрощает задачу и ускоряет данный технологический процесс.

В следствии поиска современных типов электрооборудования, рекомендуемые для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», произведён предварительный выбор новых типономиналов электрических устройств, взамен устаревшего оборудования, подлежащего дальнейшему демонтажу (таблица 8).

Предварительно выбранные электрические аппараты для их установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» далее в работе

необходимо проверить на соответствие параметрам сети, в которую они установлены.

Таким образом, обоснование модернизации оборудования в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» будет проведено в работе расчётным путём.

Таблица 8 – Заблаговременный выбор новых номиналов электрических агрегатов, которые рекомендуется смонтировать в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Место установки	Тип аппарата (оборудования)	Марка аппарата (оборудования)	Завод-изготовитель
РУ-110 кВ	Выключатель высокого напряжения	ВГТ-110П-40/2500 У1	ООО «Эпромстрой»
РУ-110 кВ	Разъединитель	РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1	ОАО «Электроцит»
РУ-110 кВ	Ограничитель перенапряжения	ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1	НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»
РУ-10 кВ	Выключатель высокого напряжения	ВБЧЭ-10-31,5/2500 УХЛ2	ЭЗ «КОНСТАЛИН»
РУ-10 кВ	Ограничитель перенапряжения	ОПН-П-10/12/10/2500 УХЛ1	НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»

На основании расчётов обязательно выполняется предварительная проверка выбранного оборудования для монтажа на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», и одновременно с этим, по результатам анализа, проверяются электрические устройства не нуждающиеся в замене.

Для защиты и коммутации оборудования в ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» РФ в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ устанавливаются высоковольтные выключатели. 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 [18].

Выбор выключателей по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (32)$$

Выбор выключателей по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (33)$$

Проверка выключателя на симметричный ток отключения:

$$I_{пт} \leq I_{откн.н}. \quad (34)$$

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

$I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА;

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (35)$$

где $i_{ат}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов;

β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ;

τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов.

Наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов выключателя:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (36)$$

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

$t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя.

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

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (37)$$

где $i_{нр.с}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ, кА;

i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя, кА.

«Проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [11,18]:

$$B_{\kappa} \leq I_T^2 t_T, \quad (38)$$

где B_{κ} – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$;

I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$;

t_T – длительность протекания тока термической устойчивости, с.

При этом расчётное значение теплового импульса:

$$B_{\kappa} = I_{\kappa}^2 (t_{отк} + T_a). \quad (39)$$

По приведённым выше условиям, с учётом рассчитанных параметров электрической сети 110 кВ и 10 кВ, далее в работе необходимо осуществить

выбор выключателей высокого напряжения для их установки в соответствующих распределительных устройствах на модернизируемой ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» РФ.

Предварительно принимается для установки на объекте проектирования выключатель высокого напряжения вакуумный, нового образца и модификации, для установки в РУ-110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» РФ, марки ВГТ-110П-40/2500 У1 (завод-изготовитель – ООО «Эпромстрой»).

Исходя из расположения в схеме ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» РФ, высоковольтные выключатели напряжением 110 кВ подразделяются на следующие типы:

- высоковольтные выключатели ввода – две единицы, служат для приёма электроэнергии от энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции;
- высоковольтные выключатели секционного соединения (секционные выключатели) – одна единица, необходим для обеспечения резервирования в схеме РУ 110 кВ на подстанции, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 110 кВ.

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» РФ, проводится по приведённым выше условиям (таблица 9).

Таблица 9 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводные выключатели: ВГТ-110П-40/2500 У1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 220,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{п.т} = 2,29 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$

Продолжение таблицы 9.

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводные выключатели: ВГТ-110П-40/2500 У1	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин.}} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,29^2 \cdot 3 = 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Секционные выключатели: ВГТ-110П-40/2500 У1	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном.}}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном.}} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном.}}$	$I_{\text{max}} = 198,3 \text{ А.}$	$I_{\text{ном.}} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{\text{н.т}} \leq I_{\text{отк.ном.}}$	$I_{\text{н.т}} = 2,29 \text{ кА.}$	$I_{\text{отк.ном.}} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин.}} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,29^2 \cdot 3 = 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Аналогично выбраны новые выключатели для РУ 10 кВ (таблица 10).

Таблица 10 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ 10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» РФ

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводные и секционные выключатели: ВБЧЭ-10-31,5/2500 УХЛ2	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном.}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном.}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном.}}$	$I_{\text{max}} = 2312,1 \text{ А.}$	$I_{\text{ном.}} = 2500 \text{ А.}$
	$I_{\text{н.т}} \leq I_{\text{отк.ном.}}$	$I_{\text{н.т}} = 8,0 \text{ кА.}$	$I_{\text{отк.ном.}} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 14,1 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин.}} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 8^2 \cdot 3 = 192 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Выключатели линейные: ВБЧЭ-10-31,5/1000 УХЛ2	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном.}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном.}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном.}}$	$I_{\text{max}} = 74,7 \text{ А.}$	$I_{\text{ном.}} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{\text{н.т}} \leq I_{\text{отк.ном.}}$	$I_{\text{н.т}} = 2,46 \text{ кА.}$	$I_{\text{отк.ном.}} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 14,1 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин.}} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 192 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Далее проводится выбор новых разъединителей для установки в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Разъединитель – это коммутационный аппарат для создания видимого разрыва и дальнейших безопасных проведений работ в электроустановках.

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

В работе для установки в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» РФ выбираются новые разъединители марки РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1 (завод-изготовитель – ОАО «Электрощит»).

«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 проверки новых разъединителей для установки в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора новых разъединителей для установки в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводные разъединители: РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 220,2 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,29^2 \cdot 3 =$ $= 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Секционные разъединители: РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 198,3 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,29^2 \cdot 3 =$ $= 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Окончательно для установки в РУ 110 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» выбираются новые разъединители марки РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1, удовлетворяющие всем требованиям выбора и проверок.

Вместо устаревших типов разрядников, которые изжили себя как в техническом, так и в экономическом плане, на подстанциях устанавливаются современные ограничители перенапряжения, имеющие в своей основе

нелинейный элемент полупроводникового типа (варисторы). Варисторы объединяются в блоки и составляют основу современных ОПН [13].

Для установки в ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» РФ выбираются современные типы ограничителей перенапряжения следующих марок и заводов-изготовителей:

- для установки в РУ 110 кВ – ОПН типа ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»);
- для установки в РУ 10 кВ – ОПН типа ОПН-П-10/12/10/2500 УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»).

Результаты выбора ограничителя перенапряжения (ОПН) для монтажа в РУ 110 кВ и РУ 10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» представлены в таблице 12.

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Сеть 110 кВ: ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 220,2 \text{ А.}$	$I_{ном} = 450 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 80 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,29^2 \cdot 3 =$ $= 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 =$ $= 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Сеть 10 кВ: ОПН-П-10/12/10/2500 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 2312,1 \text{ А.}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 14,1 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 80 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 8^2 \cdot 3 =$ $= 192 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 =$ $= 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

Новое оборудование проверено на условие соответствия максимальным рабочим токам сети, а также на термостойкость и электродинамическую стойкость к токам КЗ, рассчитанные ранее в работе. Выяснено, что в результате проведения расчётов по выбору электрических аппаратов для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ с целью модернизации ПС-110/35/10 кВ

«Корсаковская», выбранные аппараты отвечают условиям всех требуемых проверок.

Таким образом, в работе приняты современные технические решения по подбору и проверке электрооборудования ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», с применением нового современного оборудования, которое отличается своими высокими экономическими и техническими характеристиками.

Выводы по разделу.

В результате выполнения работы, проведён расчёт нагрузок одиночных присоединений, а также секций сборных шин РУ-35 кВ и РУ-10 кВ, а также всей ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Установлено, что оба силовых трансформатора марки ТДТН-40000/110, установленные на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», согласно данным суточного графика нагрузки подстанции, подходят под условия проверки. Исходя из этого они не нуждаются в замене в связи с реконструкцией схемы ОРУ-110 кВ и модернизации оборудования РУ на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

В работе проведён расчёт токов КЗ (двухфазного и трёхфазного) и ударных токов на выводах силового трансформатора подстанции 110/35/10 кВ в максимальном режиме работы системы.

В результате проведения модернизации устаревшего оборудования распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ, на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», введены мероприятия по модернизации оборудования РУ подстанции:

- выбрано и проверено в РУ-110 кВ: выключатель высокого напряжения марки ВГТ-110П-40/2500 У1 (завод-изготовитель – ООО «Эпромстрой»); разъединитель РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1 (завод-изготовитель – ОАО «Электроцит»); ограничитель перенапряжения марки ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»);

- для установки в РУ-10 кВ: выключатель высокого напряжения марки ВБЧЭ-10-31,5/2500 УХЛ2 (завод-изготовитель – ЭЗ «КОНСТАЛИН»); ограничитель перенапряжения марки ОПН-П-10/12/10/2500 УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»).

Проверочным путём обоснованы и подтверждены все сечения проводников воздушных линий напряжением 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ для их применения на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

- на питающей ВЛ-110 кВ-Т1 – провод марки АСК-120, допустимый ток $I_{дон} = 390$ А;
- на питающей ВЛ-110 кВ-Т2 – провод марки АЕРО-Z-261, допустимый ток $I_{дон} = 540$ А;
- на всех распределительных ВЛ-35 кВ – провод марки АСК-120, допустимый ток $I_{дон} = 390$ А;
- на всех распределительных ВЛ-10 кВ – провод марки АСК-70, допустимый ток $I_{дон} = 265$ А.

Выбрана и проверена ошиновка для применения в ОРУ-110 кВ, ОРУ-35 кВ и в КРУН-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

- в ОРУ-110 кВ – гибкая ошиновка из проводов марки АСК-120, допустимый ток $I_{дон} = 390$ А [7];
- в ОРУ-35 кВ – гибкая ошиновка из проводов марки АСК-120, допустимый ток $I_{дон} = 390$ А [7];
- в КРУН-10 кВ – сборные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, размер – 60×6 мм, две полосы (двухполосные шины), «допустимый ток $I_{дон} = 1355$ А» [7].

Таким образом, решена задача по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» и модернизации оборудования ОРУ-110 кВ и КРУН-10 кВ указанной подстанции.

3 Расчёт системы собственных нужд и молниезащиты на подстанции

3.1 Расчёт системы собственных нужд подстанции

Далее в работе проводится выбор схемы и трансформаторов собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», а также оперативного тока. Оперативный ток на подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» – переменный, напряжением 220 В.

К основным потребителям собственных нужд подстанции относится освещение территории ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», обогрев оборудования в зимнее время, а также устройства телемеханики, связи и управления [12]. Для выбора мощности трансформаторов собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», необходимо рассчитать нагрузку собственных нужд подстанции. Расчёт нагрузки системы собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Расчёт нагрузки системы собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Наименование потребителя	$\cos \varphi$	Потребляемая нагрузка		
		P_{\max} , кВт	Q_{\max} , квар	S_{\max} , кВА
Отопление КРУН-10 кВ	1,00	10,00	-	10,00
Подогрев шкафов СН	1,00	15,00	-	15,00
Рабочее освещение открытой части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»	1,00	2,00	-	2,00
Аварийное освещение открытой части ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»	1,00	1,00	-	1,00
Отопление технических помещений и помещения дежурного персонала ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»	1,00	10,00	-	10,00
Рабочее освещение технических помещений и помещения дежурного персонала ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»	1,00	2,00	-	2,00
Аварийное освещение технических помещений и помещения дежурного персонала ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»	1,00	0,50	-	0,50
Стойки телемеханики, связи и управления	-	3,50	-	3,50
Итого		44,00	-	44,00

Далее в работе проводится выбор трансформаторов собственных нужд на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Нагрузка собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» определяется [18]:

$$S_{\text{макс.сн}} = k_{\text{р.м}} \sqrt{\sum_1^n P_{\text{макс}}^2 + \sum_1^n Q_{\text{макс}}^2}, \quad (40)$$

где $P_{\text{макс}}$ – суммарная активная потребляемая нагрузка собственных нужд, кВт;

$Q_{\text{макс}}$ – суммарная реактивная потребляемая нагрузка собственных нужд, кВт.

При $k_{\text{р.м}} = 0,85$, расчётная полная нагрузка СН по условию (40):

$$S_{\text{макс.сн}} = 0,85 \sqrt{44^2 + 0^2} = 37,4 \text{ кВА.}$$

Расчетная мощность трансформатора собственных нужд (ТСН) выбирается с учётом суммарной расчётной полной мощности собственных нужд, с учётом коэффициента загрузки ТСН и числа ТСН на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

$$S_{\text{ТСН}} = \frac{S_{\text{макс.сн}}}{k_3 \cdot n}, \text{ кВА.} \quad (41)$$

Расчетная мощность ТСН по (41):

$$S_{\text{ТСН}} = \frac{37,4}{0,7 \cdot 2} = 26,7 \text{ кВА.}$$

К установке на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» системы внешнего электроснабжения объекта, принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-40/10 У1, работающих раздельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Трансформаторы собственных нужд устанавливаются в специализированных ячейках КРУН-10 кВ.

Исходя из типа выбранных ТСН, принимается для их защиты плавкие высоковольтные предохранители марки ПКН-101-10-У3, расположенные в одной ячейке с ТСН.

На стороне НН предусматривается раздельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи [20].

Схема подключения ТСН ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» представлена на рисунке 9.

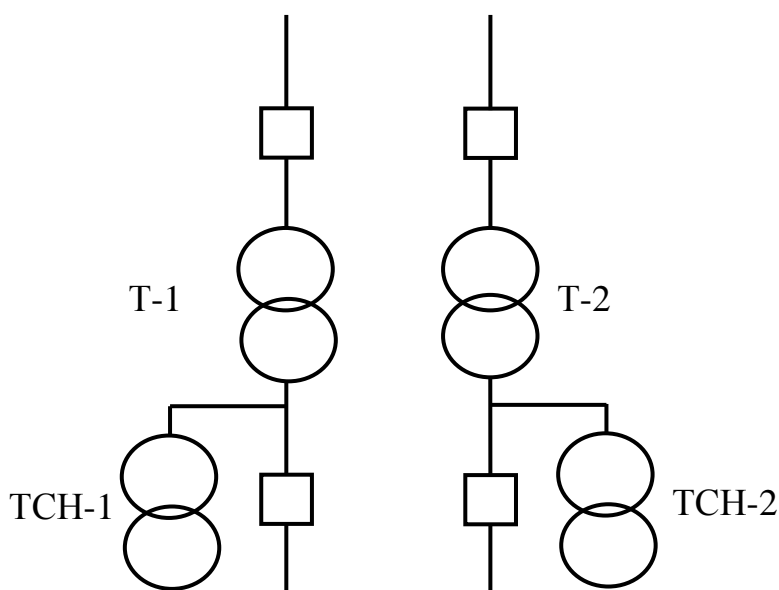


Рисунок 9 – Схема подключения ТСН на подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»

Однолинейная принципиальная схема собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» представлена в графической части работы.

3.2 Расчёт молниезащиты подстанции

«Молниезащита подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» осуществляется ограничителями перенапряжений, которые были выбраны ранее, и стержневыми молниеотводами, расчёт которых осуществляется далее.

Молниеотводы защищают оборудование ОРУ и здания подстанции от прямых ударов молнии.

Молниеотводы устанавливаются на конструкциях и порталах ОРУ-110 кВ, а также используются для установки молниеотводов прожекторные и радиомачты.

Высота молниеотводов в ОРУ-110 кВ равна 30 м, отдельно стоящих молниеотводов – 33 м.

Радиус зоны защиты одиночного молниеотвода, м, на расчетной высоте определяется по формуле из» [14]:

$$r_x = 1,5 \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right), \quad (42)$$

где h – высота молниеотвода, м;

h_x – расчетная высота, м.

Коэффициент p определяется по формуле:

$$P = \frac{5,5}{\sqrt{h_a}}, \quad (43)$$

где h_a - активной части молниеотвода, м.

Высота активной части определяется по формуле:

$$h_a = h - h_x. \quad (44)$$

Наименьшая ширина зоны защиты $2b_x$, м, определяется согласно [21].
Для двух молниеотводов одной высоты:

$$2b_x = 4r_x \frac{7h_a - a}{14h_a - a}, \quad (45)$$

где h_a – разность между высотой молниеотвода и расчетной высотой, м;
 a – расстояние между двумя молниеотводами, м.

Зона защиты для двух молниеотводов разной высоты определяется также как и предыдущее, но с учетом расстояния a' между установленными молниеотводом и мнимым молниеотводом, смещенным относительно модели.

Высота защищенной точки посередине между молниеотводами будет определяться по формуле:

$$h_0 = h - \frac{a}{7 \cdot p}. \quad (46)$$

ОРУ-110 кВ подстанции защищаются несколькими молниеотводами. Внешняя часть зоны защиты определяется также как и зона защиты для двух молниеотводов.

Объект высотой h_x , находящийся внутри остроугольного треугольника или прямоугольника, в вершинах которого установлены молниеотводы, защищен в том случае, если диаметр окружности, проходящий через вершины треугольника, в которых установлены молниеотводы, или диагональ прямоугольника, в углах которого находятся молниеотводы, удовлетворяют условию:

$$D \leq 8 \cdot p \cdot (h - h_x) = 8 \cdot p \cdot h_a. \quad (47)$$

Рассчитывается зона защиты молниеотводов М1 и М2 на высоте 17 м и 7,9 м. Высота молниеотводов 33 м.

Определяется коэффициент:

$$p = \frac{5,5}{\sqrt{33-17}} = 1,375.$$

$$p = \frac{5,5}{\sqrt{33-7,9}} = 1,1.$$

Радиус зоны защиты каждого молниеотвода

– на высоте 17 м:

$$r_x = 1,6 \cdot 33 \cdot \frac{33-17}{33+17} \cdot 1,375 = 23,5 \text{ м.}$$

– на высоте 7,9 м:

$$r_x = 1,6 \cdot 33 \cdot \frac{33-7,9}{33+7,9} \cdot 1,1 = 36,6 \text{ м.}$$

Наименьшая ширина зоны защиты двух молниеотводов:

– на высоте 17 м:

$$2b_x = 4 \cdot 23,5 \cdot \frac{7 \cdot 16 - 92,5}{14 \cdot 16 + 92,5} = 5,8 \text{ м.}$$

– на высоте 7,9 м:

$$2b_x = 4 \cdot 35,6 \cdot \frac{7 \cdot 25,1 - 92,5}{14 \cdot 25,1 + 92,5} = 26,7 \text{ м.}$$

Проверка выполнения условия (47):

– на высоте 17 м:

$$D = 91 \leq 8 \cdot 1,375 \cdot (33 - 17) = 176 \text{ м.}$$

– на высоте 7,9 м:

$$D = 91 \leq 8 \cdot 1,1 \cdot (33 - 7,9) = 221 \text{ м.}$$

Результаты расчетов для остальных пар молниеотводов сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Результат расчётов зон защиты молниеотводов

Номера молниеотводов	h , м	$a(a')$, м	h_x , м	r_x , м	h_0 , м	$2b_x$, м
1-2	33-33	92,5	17,0	23,5	23,4	5,8
1-2	33-33	92,5	7,9	35,6	20,9	26,7
1-6	33-30	93,5(90)	17,0	23,2-20,2	21,5	0,3
1-6	33-30	93,5(90)	7,9	35,6-20,2	19,0	21,2
1-7	33-30	73,5(70)	17,0	23,2-20,2	23,4	6,7
2-3	33-33	72,5	17,0	23,5	25,4	12,5
2-3	33-33	72,5	7,9	35,6	23,5	34,6
3-8	33-30	40,5(35)	17,0	23,2-20,2	26,7	20,8
3-10	33-30	64,5(60)	17,0	23,2-20,2	24,3	10,3
4-5	33-30	40,5(35)	17,0	23,2-20,2	26,7	20,8
4-6	33-30	53,0(50)	17,0	23,2-20,2	25,3	14,3
4-9	33-30	30,0(25)	17,0	23,2-20,2	27,6	25,7
5-8	30-30	42,0	17,0	20,2	26,0	17,6
5-9	30-30	46,5	17,0	20,2	25,6	15,7
5-10	30-30	63,0	17,0	20,2	24,1	9,2
6-7	30-30	42,0	17,0	20,2	26,0	17,6
6-9	30-30	31,5	17,0	20,2	27,0	22,5
6-10	30-30	53,0	17,0	20,2	25,0	13,0
7-9	30-30	51,5	17,0	20,2	25,1	13,6
7-10	30-30	31,5	17,0	20,2	27,0	22,5
8-10	30-30	46,5	17,0	20,2	25,6	15,7

Расположение выбранных устройств молниезащиты ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», с учётом их количества и зоны защиты, показано в графической части работы.

Выводы по разделу.

В работе проведён расчёт системы собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» с последующим выбором схемы подключения ТСН к схеме подстанции.

Выбраны и проверены ТСН марки ТМ-40/10 У1. Выбран переменный оперативный ток для системы СН.

Предложенная схема собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», с радиальным питанием двух ТСН, соответствует требованиям основных документов.

Проведён расчёт молниезащиты подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Выбраны и проанализированы зоны защиты, осуществляемые десятью стержневыми молниеотводами.

Установлено, что принятые устройства молниезащиты обеспечат качественную защиту основного оборудования ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» от прямых ударов молнии на всех расчётных высотах и длинах.

Заключение

В работе разработаны мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ-110 кВ трансформаторной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» Сахалинских региональных электрических сетей с модернизацией оборудования данной подстанции.

На основании полученных аналитических данных проведённого анализа, установлено, что в работе рекомендуется внедрить предложенные мероприятия по реконструкции объекта исследования, которые носят комплексный характер и заключаются в практической реализации следующих рекомендаций:

- реконструкция схемы главных электрических соединений нормального режима ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», путём изменения исходной схемы электрических соединений ОРУ-110 кВ подстанций со схемы «4Н» на новую схему «5Н». Данный аспект связан с несоответствием схемы ОРУ-110 кВ условиям бесперебойности электроснабжения и надёжности для резервирования питания в системе обеспечения электроэнергией потребителей всего Корсаковского района, а также проблемами технического характера при выводе оборудования в ремонт без отключения потребителей и при возникновении аварийных режимов;
- модернизация оборудования ОРУ-110 кВ (выключатели, разъединители, разрядники) и ячеек РУ-10 кВ (выключатели, а также дополнительная установка ОПН в ячейки выключателей). Данный аспект связан с тем, что указанное оборудование значительно устарело, вследствие чего утратило свой технический коммутационный и защитный ресурс, что сказывается на работоспособности всей системы электроснабжения ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская».

Проведён расчёт нагрузок одиночных присоединений, а также секций сборных шин РУ-35 кВ и РУ-10 кВ, а также всей ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская». Установлено, что оба силовых трансформатора марки ТДТН-40000/110, установленные на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», удовлетворяют условиям всех требуемых проверок, согласно данным суточного графика нагрузки подстанции. В работе проведён расчёт токов КЗ (двухфазного и трёхфазного) и ударных токов на выводах силового трансформатора 110/35/10 кВ в максимальном режиме работы системы.

В результате проведения модернизации устаревшего оборудования распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ, на трансформаторной подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», внедрены следующие практические мероприятия по модернизации оборудования РУ подстанции:

- выбрано и проверено новое оборудование для установки в РУ-110 кВ подстанции, а именно: выключатель высокого напряжения марки ВГТ-110П-40/2500 У1 (завод-изготовитель – ООО «Эпромстрой»); разъединитель РН-СЭЩ-110-25/1000 УХЛ1 (завод-изготовитель – ОАО «Электрощит»); ограничитель перенапряжения марки ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»);
- выбрано и проверено новое оборудование для установки в РУ-10 кВ подстанции: выключатель высокого напряжения марки ВБЧЭ-10-31,5/2500 УХЛ2 (завод-изготовитель – ЭЗ «КОНСТАЛИН»); ограничитель перенапряжения марки ОПН-П-10/12/10/2500 УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»).

Проверочным путём обоснованы и подтверждены все сечения проводников воздушных линий напряжением 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ для их применения на ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

- на питающей ВЛ-110 кВ-Т1 – провод марки АСК-120, допустимый ток $I_{дон} = 390 \text{ А}$;

- на питающей ВЛ-110 кВ-Т2 – провод марки АЕРО-Z-261, допустимый ток $I_{don} = 540$ А;
- на всех распределительных ВЛ-35 кВ – провод марки АСК-120, допустимый ток $I_{don} = 390$ А;
- на всех распределительных ВЛ-10 кВ – провод марки АСК-70, допустимый ток $I_{don} = 265$ А.

Выбрана и проверена ошиновка для применения в ОРУ-110 кВ, ОРУ-35 кВ и в КРУН-10 кВ ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская»:

- в ОРУ-110 кВ и ОРУ-35 кВ – гибкая ошиновка из проводов марки АСК-120, допустимый ток $I_{don} = 390$ А;
- в КРУН-10 кВ – сборные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, размер – 60×6 мм, две полосы (двухполосные шины), допустимый ток $I_{don} = 1355$ А.

Проведён расчёт системы собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» с последующим выбором схемы подключения ТСН к схеме подстанции. Выбраны и проверены ТСН марки ТМ-40/10 У1. Выбран переменный оперативный ток для системы СН. Предложенная схема собственных нужд ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская», с радиальным питанием двух ТСН, соответствует требованиям основных документов.

Проведён расчёт молниезащиты подстанции ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская». Выбраны и проанализированы зоны защиты, осуществляемые десятью стержневыми молниеотводами. Установлено, что принятые устройства молниезащиты обеспечат качественную защиту основного оборудования ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» от прямых ударов молнии на всех расчётных высотах и длинах.

Таким образом, расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ПС-110/35/10 кВ «Корсаковская» и модернизации оборудования ОРУ-110 кВ и КРУН-10 кВ указанной подстанции.

Список используемых источников

1. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 16.02.2023).
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: 16.02.2023).
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: 16.02.2023).
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. М.: Юрайт, 2018. 180 с.
6. Михеев Г В. Ресурсосберегающая диагностика высоковольтного электрооборудования. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2021. 376 с.
7. 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.
8. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 148 с.
9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
10. 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: 17.02.2023).

11. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.

13. Правила устройства электроустановок. М.: Альвис, 2018. 632 с.

14. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.

15. Спиридонов Н.Н. Режимы работы электрооборудования станций и подстанций. М.: Нестор-История, 2019. 256 с.

16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

17. СТО 34.01-23.1-001-2017 Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Моркнига, 2018. 215 с.

18. 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: 18.02.2023).

19. 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: 16.02.2023).

20. 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: 17.02.2023).