

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 КТП 10/0,4 кВ

Обучающийся

Н. В. Бойцов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2022

Аннотация

Работа посвящена реконструкции электрической части КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в связи с вводом в эксплуатацию нового насосного оборудования, а также других потребителей, являющиеся нагрузкой на данном объекте.

Кроме того, реконструкция объекта также обуславливается несоответствием схемы электрических соединений установленным нормам и требованиям основных нормативных документов.

Осуществлён анализ характеристик потребителей электрической части КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, а также схемы электрических соединений и оборудования распределительных устройств подстанции, на основе чего установлены проблемы и предложены пути их решения.

На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей и результатов анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования подстанций, на электрической части КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 проведены «выбор и проверка силовых трансформаторов, проводников электрических сетей, а также новых современных электрических и коммутационных аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, обладающих повышенными показателями надёжности» [8], безопасности и экономичности. Расчётным путём установлено, что выбранное современное оборудование распределительных удовлетворяет классов напряжения 10 кВ и 0,4 кВ, соответствует условиям всех проверок и может быть установлено на данной понизительной подстанции КТП-58.

Также рассчитаны уставки релейной защиты и автоматики электрической части КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3.

Предложенные в работе практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений подстанции, позволят значительно повысить показатели надёжности, безопасности и экономичности объекта.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ	6
1.1 Исходная характеристика схемы и оборудования КТП 10/0,4 кВ.....	6
1.2 Исходная характеристика потребителей КТП 10/0,4 кВ	10
2 Реконструкция системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ	15
2.1 Определение расчётных электрических нагрузок	15
2.2 Выбор компенсирующих устройств на КТП 10/0,4 кВ.....	21
2.3 Проверка силовых трансформаторов КТП 10/0,4 кВ.....	23
2.4 Выбор сечения кабельных линий КТП 10/0,4 кВ	26
2.5 Определение токов короткого замыкания.....	29
2.6 Выбор электрических аппаратов	36
2.7 Разработка мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту КТП 10/0,4 кВ	42
3 Расчёт релейной защиты и автоматики КТП 10/0,4 кВ.....	50
3.1 Выбор блоков РЗиА	50
3.2 Расчёт токов и времени срабатывания защит	52
Заключение	58
Список используемых источников.....	62

Введение

Трансформаторные подстанции являются важнейшими элементами современных систем электроснабжения при обеспечении снабжения электрической энергией. Известно, что экономическая эффективность использования электроэнергии в современном мире значительно возросла. Сегодня невозможно представить жизнь общества без электроэнергии, которая прочно вошла в жизнь цивилизации. При этом, рассматривая весь цикл передачи и потребления электроэнергии, можно отметить то, что одним из основных элементов при передаче электроэнергии к потребителям в системах электроснабжения всех типов, являются трансформаторные подстанции. Из всех типов подстанций, современные понизительные трансформаторные подстанции (далее – ТП) переменного тока сегодня наиболее широко распространены в системах электроснабжения [20].

Подстанции напряжением 6(10)/0,4 кВ являются последним звеном трансформации в цикле передачи электроэнергии к потребителю напряжением 0,4 кВ. Таким образом, с помощью ТП-6(10)/0,4 кВ обеспечиваются питание потребители промышленного комплекса, а также бытовых и коммунальных потребителей.

Для питания тепловых насосных станций также применяются ТП-6(10)/0,4 кВ. Одна из таких подстанций детально рассматривается в работе.

Основной целью работы является реконструкция КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, обусловленная внесением изменений в исходную электрическую схему подстанции путём подключения дополнительных потребителей в связи с реконструкцией насосного парка.

Такие мероприятия по реконструкции обязательно должны быть согласованы для питания потребителей I и II категории надёжности, к которым относятся данные потребители.

Объектом исследования в данной работе является электрическая часть КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша.

Предметом исследования выступает электрическая принципиальная схема данной подстанции (схема главных электрических соединений), а также составные части этой схемы, к которой относятся силовые трансформаторы, электрические сети, оборудование распределительных устройств напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, а также устройства релейной защиты и автоматики.

«Актуальность данной работы обусловлена необходимостью реконструкции понизительных подстанций энергосистемы всех типов» [8], которая обусловлена вводом в эксплуатацию новых ответственных потребителей I и II категории надёжности [1].

Для решения поставленных заданий, в работе применяются следующие методы исследований: анализ нормативных документов и учебной технической литературы, индуктивный и дедуктивный методы анализа, методы расчёта электрических цепей, методы сравнения, аналитический метод. На основе проведённого анализа схемы электрических соединений и характеристик потребителей электрической части подстанции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, в работе осуществляется выбор и проверка нового оборудования электрической сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, необходимых для подключения новых присоединений потребителей к данной трансформаторной подстанции. При этом аргументированный выбор нового оборудования в работе основан на анализе современных разработок и моделей ведущих мировых и отечественных производителей.

Последующая требуемая проверка всего оборудования подстанции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 основывается на результатах расчёта электрических нагрузок и токах короткого замыкания в максимальном режиме работы. Работа состоит из трёх разделов и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов.

Все принятые решения подтверждаются на основании полученных результатов расчётов с применением аналитического метода анализа.

1 Характеристика системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ

1.1 Исходная характеристика схемы и оборудования КТП 10/0,4 кВ

Проводится анализ исходных данных электрической части понизительной подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 до проведения реконструкции.

Данная понизительная подстанция территориально находится в г. Костомукша Республики Карелия.

Данная подстанция обеспечивает питание технологических механизмов и потребителей тепловой насосной подстанции города ТНС-3.

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 является одной из потребительских подстанций указанного коммунального предприятия и территориально расположена в центре г. Костомукша, обеспечивая качественной электроэнергией своих промышленных потребителей на номинальном напряжении 0,4 кВ.

Понизительная подстанция КТП 10/0,4 кВ переменного напряжения системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, по месту расположения в схеме электроснабжения города, является тупиковой распределительной понижающей подстанцией и играет важное значение в системе электроснабжения объектов городской коммунальной инфраструктуры.

Рассматриваемая понизительная подстанция переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша является одной из потребительских подстанций городской инфраструктуры и территориально расположена в непосредственной близости к объекту, обеспечивая

качественной электроэнергией своих потребителей на номинальном напряжении 0,4 кВ.

Данная понизительная подстанция КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 находится на полном балансе коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, поэтому полностью обслуживается и ремонтируется работниками данного учреждения.

Подстанция КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, является двухтрансформаторной комплектной подстанцией тупикового типа с резервированием на сторонах 10 кВ (ВН) и 0,4 кВ (НН).

Конструктивно КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, выполнена в виде комплектной трансформаторной подстанции наружной установки с кабельными вводами.

В схеме РУ-10 кВ понизительной подстанции КТП 10/0,4 кВ переменного напряжения системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, для питания сборных шин 10 кВ, применяется схема с наличием автоматического резервирования на стороне 10 кВ подстанции, что также соответствует условиям для питания I и II категорий потребителей согласно нормам и требованиям [10].

На отходящих линиях в РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, установлены следующие основные защитные и коммутационные аппараты (графический лист 1):

- выключатели нагрузки марки ВНА-10/630-Л-з-ПТ1.3-И2-УХЛ2-КЭАЗ с ручным приводом марки с ручным приводом ПРБД-10 – 2 единицы (год изготовления – 2015, введён в эксплуатацию на подстанции в 2017 году);

– предохранители ПКТ-103-10 (однофазные) – 6 единиц (год изготовления – 2006, введены в эксплуатацию на подстанции в 2017 году).

Питание РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша от РП-10 кВ города, осуществляется кабельной линией с помощью двух силовых кабелей марки АСБ-10 (3х35).

На подстанции переменного напряжения системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, установлены два силовых трансформатора марки ТМ-1000/10 (изготовлены в 2009, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 2007).

Далее рассматривается распределительное устройство номинальным напряжением 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ (далее – РУ-0,4 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки с применением ячеек стационарного типа (год производства – 2006, введены в эксплуатацию на подстанции в 2007 году).

В схеме РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, предусмотрены две рабочие, секционированные выключателем с АВР, системы сборных шин с резервированием. Защита и коммутация схемы РУ-0,4 кВ подстанции обеспечивается автоматическими воздушными выключателями (автоматами), установленными в шкафах РУ-0,4 кВ КТП.

Такая схема с наличием автоматического резервирования на стороне 0,4 кВ подстанции, полностью соответствует условиям для питания I и II категорий потребителей согласно нормам и требованиям [10].

Исходная схема электрических соединений КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, представлена в данной работе на рисунке 1.

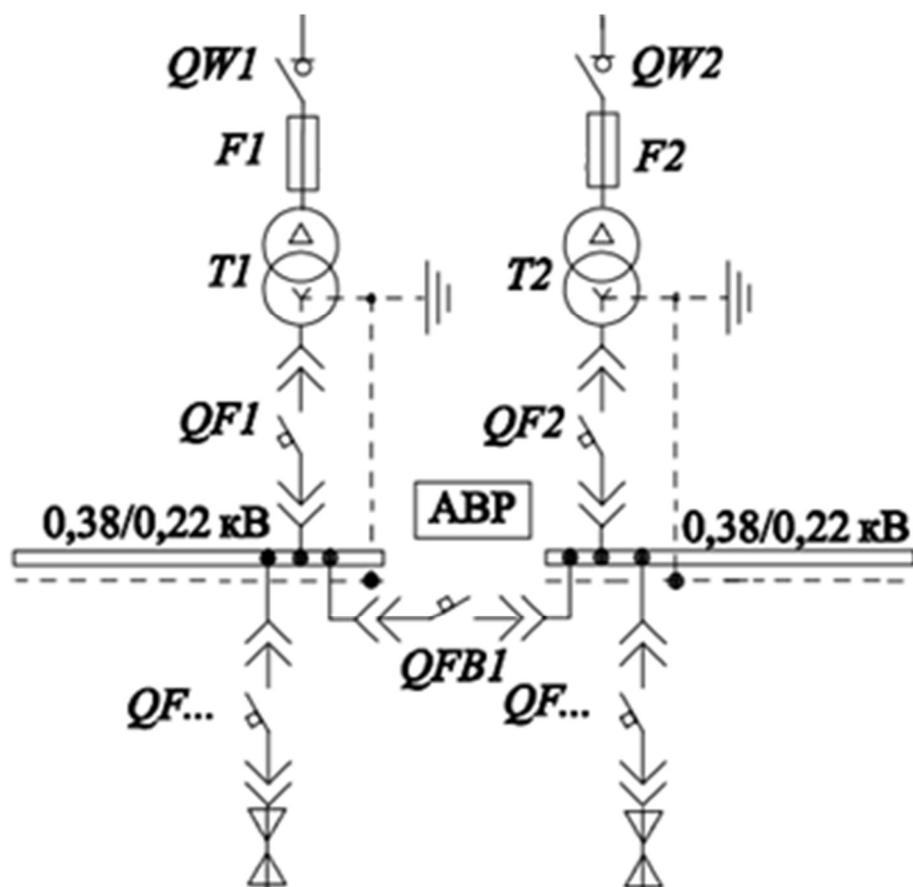


Рисунок 1 – Схема электрических соединений КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша

На схеме электрических соединений рисунка 2, на КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, показаны следующие основные элементы: T1, T2 – силовые трансформаторы, QW1, QW2 – выключатели нагрузки, F1, F2 – предохранители, QF1, QF2– вводные автоматы, QFB1 – секционный автомат, QF – линейные автоматы.

От шин РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, получают непосредственное питание потребители объекта. При этом, так как данная подстанция находится непосредственно на самом объекте, нет необходимости в «промежуточных звеньях» (силовых распределительных шкафах и щитах). Такая схема – более надёжная и экономичная, поэтому рекомендована к применению на объекте [15].

1.2 Исходная характеристика потребителей КТП 10/0,4 кВ

Далее в работе необходимо провести исходную характеристику потребителей КТП 10/0,4 кВ, питающей системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша.

От сборных шин РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, получают питание потребители данного коммунального предприятия по радиальной схеме электроснабжения четырёхжильными силовыми кабелями.

С учётом того факта, что рассматриваемая в работе КТП 10/0,4 кВ находится в непосредственной близости от системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, потребители данного объекта получают питание от РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ напрямую, без промежуточных звеньев, что значительно упрощает схему, повышает её надёжность, экономичность, а также существенно способствует снижению потерь электроэнергии и напряжения в сети.

Основными потребителями КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, являются технологические механизмы, устройства и узлы данного коммунального предприятия.

Все они работают на трёхфазном переменном напряжении 0,22/0,38 кВ промышленной частоты 50 Гц.

Высоковольтные потребители и транзитные потребители в системе электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 отсутствуют.

К основным потребителям КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 относятся:

- два сетевых насоса мощностью 320 кВт каждый;
- два насоса охлаждения мощностью по 15 кВт каждый;

- четыре задвижки по 6 кВт каждая;
- две задвижки мощностью 8,5 кВт каждая;
- освещение (наружное и внутреннее) всего объекта;
- вспомогательное оборудование (вентиляторы системы вентиляции, сварочные посты).

Однако, в связи с реконструкцией насосного парка на тепловой насосной станции ТНС-3, предполагается также ввести в эксплуатацию дополнительное оборудование.

Следовательно, исходя из исходной схемы электрических соединений КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, эти потребители автоматически будут являться также и присоединениями сборных шин 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ объекта.

Их количество и мощности, с учётом реконструкции и ввода в эксплуатацию новых объектов в системе электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3, указано в таблице 1.

Все перечисленные в работе потребители тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша оказывают непосредственное влияние на основной и вспомогательный технологический процесс, осуществляемый на территории данного объекта.

По этой причине они должны включены в систему электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша.

Исходя из количества и фактических нагрузок, в таблице 1 работы приводятся исходные данные потребителей КТП-10/0,4 кВ, питающей указанное коммунальное предприятие, с указанием исходной установленной фактической нагрузки, согласно условиям технического задания, на проведение реконструкции питающей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3.

В таблице 1 также указано количество единиц оборудования в схеме до и после проведения реконструкции.

Таблица 1 – Характеристика технологического оборудования (потребителей) КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3

Наименование потребителя	Совокупные параметры и характеристики потребителя			Количество единиц в схеме до реконструкции, шт.	Количество единиц в схеме после реконструкции, шт.
	$P_{ном}$, кВт	η , %	$\cos\varphi$		
Насос сетевой	320	0,89	0,91	2	4
Насос охлаждения	15	0,88	0,90	2	4
Задвижки	6	0,88	0,88	4	6
Задвижки	8,5	0,88	0,89	2	4
Вентилятор	1,5	0,87	0,87	2	2
Сварочный пост	10	0,81	0,82	2	2
Рабочее освещение (щитки)	2	-	0,95	2	2
Аварийное освещение (щитки)	0,5	-	0,95	2	2

Из таблицы 1 можно сделать следующие выводы о том, какие именно новые потребители в системе электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 планируется ввести в эксплуатацию, в связи с реконструкцией системы насосного парка на объекте:

- насос сетевой (320 кВт) – 2 единицы;
- насос охлаждения (15 кВт) – 2 единицы;
- задвижки (8,5 кВт) – 2 единицы;
- задвижки (6 кВт) – 2 единицы.

Исходя из новой нагрузки потребителей, полученной в результате реконструкции насосного парка объекта, необходимо пересчитать электрические нагрузки питающей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, и, далее, на основании полученных результатов, провести выбор силовых трансформаторов подстанции, а также проводников и аппаратов всей системы электроснабжения объекта.

Предложенные мероприятия по приведённым этапам и мероприятиям реконструкции подстанции, детально рассматриваются и рассчитываются в работе далее. При этом предлагается равномерно разделить электрическую нагрузку объекта (с учётом новых потребителей) на две секции сборных шин РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ.

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

Внедрение принятых рекомендаций по реконструкции оборудования насосного парка тепловой насосной станции ТНС-3, которую питает рассматриваемая в работе КТП 10/0,4 кВ, позволит значительно повысить надёжность, экономичность, электробезопасность и экологичность на объекте исследования, при этом значительно снизив затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание, технические осмотры, дефектацию и ремонт данного оборудования.

Все приведённые в работе потребители тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша с питающей понизительной КТП 10/0,4 кВ переменного тока, а также питающими и распределительными сетями напряжением 0,38/0,22 кВ, показаны в работе на графическом листе 1.

Учитывая данную информацию, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по реконструкции системы электроснабжения данного тепловой насосной станции ТНС-3 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша.

Выводы по разделу 1.

В работе проведён анализ исходных данных принципиальной схемы электрических соединений, оборудования и потребителей КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3.

В результате проведённого детального анализа исходного технического состояния и потребителей объекта установлено, что требуется реконструкция схемы электрических соединений КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в связи с подключением в её схему новых потребителей.

Установлено, что в системе электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 планируется ввести в эксплуатацию, в связи с реконструкцией системы насосного парка, следующие потребители:

- насос сетевой (320 кВт) – 2 единицы;
- насос охлаждения (15 кВт) – 2 единицы;
- задвижки (8,5 кВт) – 2 единицы;
- задвижки (6 кВт) – 2 единицы.

Предложено, исходя из новой нагрузки потребителей, полученной в результате реконструкции насосного парка объекта, пересчитать электрические нагрузки питающей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, и, далее, на основании полученных результатов, провести выбор силовых трансформаторов подстанции, а также проводников и аппаратов всей системы электроснабжения объекта.

При этом предлагается равномерно разделить электрическую нагрузку объекта (с учётом новых потребителей) на две секции сборных шин РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ.

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

Внедрение принятых рекомендаций по реконструкции оборудования насосного парка тепловой насосной станции ТНС-3, которую питает рассматриваемая в работе КТП 10/0,4 кВ, позволит значительно повысить надёжность, экономичность, электробезопасность и экологичность на объекте исследования, при этом значительно снизив затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание и ремонт данного оборудования.

Предлагаемые в работе практические мероприятия по реконструкции электрических соединений КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3, детально проверяются далее на основе соответствующих расчётов и проверок.

2 Реконструкция системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ

2.1 Определение расчётных электрических нагрузок

Для следующего этапа, включающего расчёт электрических нагрузок подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, в работе далее используются данные, представленные в таблице 1 ранее в работе.

С учётом подключения новых потребителей для реконструкции насосного парка объекта, необходимо пересчитать электрические нагрузки питающей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, и, далее, на основании полученных результатов, провести выбор силовых трансформаторов подстанции, а также проводников и аппаратов всей системы электроснабжения объекта.

Так как новые потребители подключаются напрямую к РУ-0,4 кВ питающей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, значит, в РУ-0,4 кВ подстанции необходимо предусмотреть новые присоединения для подключения данных потребителей.

С учётом этого, изменится количество присоединений и мощность на сборных шинах РУ-0,4 кВ питающей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3.

При этом предлагается равномерно разделить электрическую нагрузку объекта (с учётом новых потребителей) на две секции сборных шин РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ. Таким образом, вся нагрузка питающей тепловой насосной станции ТНС-3, с учётом новых потребителей, также будет равномерно распределена на оба силовых трансформатора подстанции, питающих каждый свою секцию шин 0,4 кВ отдельно.

Известно, что такая схема обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и

секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования [14].

С учётом этого, далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок питающей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, целью которого является определение расчётных электрических нагрузок всех потребителей, а также суммарной расчётной нагрузки данной подстанции.

Расчёты проводятся на примере одного объекта, все остальные типичные результаты расчётов сводятся в таблицы.

«Активная и реактивная нагрузки КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3» [10]:

$$P_{см} = P_{ном} \cdot k_u, \text{кВт.} \quad (1)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi, \text{квар.} \quad (2)$$

$$k_u = \frac{P_{см}}{P_{ном}}. \quad (3)$$

«Эффективное количество ЭП» [10]

$$n_{э} = \frac{(\sum P_{ном})^2}{P_{ном}^2}. \quad (4)$$

«Расчетная активная нагрузка группы ЭП» [10]

$$P_p = P_{см} \cdot k_p, \text{кВт.} \quad (5)$$

«Согласно» [10]

$$\cos\varphi_{ср.взв} = \frac{\sum P_{ном} \cdot \cos\varphi}{\sum P_{ном}}. \quad (6)$$

«Расчетная нагрузка КТП 10/0,4 кВ подстанции» [10]:

$$Q_p = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ср.взв} \cdot k_{pp}, \text{квар.} \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА.} \quad (8)$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А.} \quad (9)$$

«Пиковый ток» [10]:

$$I_{пик} = I_{н.п.} + (I_p - k_u \cdot I_n), \text{А.} \quad (10)$$

Значения пикового тока рассчитываются только для группы взаимосвязанных электродвигателей, если они отсутствуют в схеме, данный расчёт не проводится [4]. Результаты предварительного проектирования питающей сети 0,4 кВ объекта с учётом распределения нагрузки по секциям шин 0,4 кВ) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты предварительного проектирования питающей сети 0,4 кВ объекта (распределение нагрузки по секциям шин 0,4 кВ)

Наименование потребителя	Мощность потребителя, кВт	Количество присоединений I секции шин РУ-0,4 кВ	Суммарная мощность потребителей I секции шин РУ-0,4 кВ	Количество присоединений II секции шин РУ-0,4 кВ	Суммарная мощность потребителей II секции шин РУ-0,4 кВ
Насос сетевой	320	2	640	2	640
Насос охлаждения	15	2	30	2	30
Задвижки	6	3	18	3	18
Задвижки	8,5	2	17	2	17
Вентилятор	1,5	1	1,5	1	1,5
Сварочный пост	10	1	10	1	10
Рабочее освещение	2	1	2	1	2
Аварийное освещение	0,5	1	0,5	1	0,5
Всего	-	13	719	13	719

Из результатов таблицы 2, иллюстрирующей предварительное проектирование питающей сети 0,4 кВ объекта (распределение нагрузки по секциям шин 0,4 кВ), можно сделать следующие выводы:

- на каждой секции сборных шин 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 находится равное количество линейных присоединений (13 шт.);
- на каждой секции сборных шин 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 сосредоточена равная нагрузка (719 кВт);
- исходя из приведённых выше результатов, оба силовых трансформатора в схеме электроснабжения 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 будут находиться в одинаковых нагрузочных условиях. Следовательно, все электрические аппараты и проводники для выбора в цепи трансформаторов, будут одинаковы для двух данных фидеров.

Проводится расчёт нагрузки на примере сетевого насоса тепловой насосной станции ТНС-3, питающегося от РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ по радиальной схеме, согласно условиям (1) – (10):

$$P_p = 320 \cdot 0,8 = 256 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 256 \cdot 0,73 = 186,9 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{256^2 + 186,9^2} = 317 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{317}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 487,6 \text{ А.}$$

«Расчетная нагрузка освещения» [12]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{ном.o} K_{пр.а}, \text{ кВт.} \quad (11)$$

$$P_{ном.o} = P_{уд.o} F_{ц}, \text{ кВт.} \quad (12)$$

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o, \text{ квар.} \quad (13)$$

Суммарная осветительная нагрузка тепловой насосной станции ТНС-3 согласно (11) – (13).

Для расчётной активной силовой и осветительной нагрузки объекта исследования:

$$P_{ном.о} = 500 \cdot \frac{15}{1000} = 7,5 \text{ кВт.}$$

$$P_{p.o} = 7,5 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 7,4 \text{ кВт.}$$

Для расчётной реактивной и полной силовой и осветительной нагрузки объекта исследования:

$$Q_{p.o} = 7,5 \cdot 0,43 = 3,2 \text{ квар.}$$

$$S_{p.o} = \sqrt{7,4^2 + 3,2^2} = 8,1 \text{ кВА.}$$

Для расчётного тока нагрузки объекта исследования:

$$I_{p.o} = \frac{8,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 12,5 \text{ А.}$$

Осветительная нагрузка равномерно распределяется между двумя секциями сборных шин РУ-0,4 кВ насосной станции ТНС-3.

Аналогично проведён расчёт нагрузки всех объектов насосной станции ТНС-3.

Результаты расчётов электрических нагрузок отдельных присоединений и всей питающей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 представлены в виде таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов электрических нагрузок КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3

Потребитель	Кол-во, шт	$P_{ном}$, кВт	$P_{сум}$, кВт	$n_э$	K_p	Значение нагрузки				
						$P_{р.}$, кВт	$Q_{р.}$, квар	$S_{р.}$, кВ·А	$I_{р.}$, А	$I_{н.}$, А.
Секция шин I РУ-0,4 кВ										
Насос сетевой	2	320	640	-	-	256,0	186,9	317,0	487,6	-
Насос охлаждения	2	15	30	-	-	12,0	8,8	14,9	22,9	-
Задвижки	3	6	18	-	-	4,8	3,5	5,9	9,1	-
Задвижки	2	8,5	17	-	-	6,8	4,8	8,3	12,8	-
Вентилятор	1	1,5	1,5	-	-	1,2	0,8	1,7	2,6	-
Сварочный пост	1	10	10	-	-	7,8	5,5	9,6	14,7	-
Рабочее освещение	1	2	2	-	-	3,7	1,6	4,1	6,3	-
Аварийное освещение	1	0,5	0,5	-	-	0,5	0,1	0,6	0,9	-
Всего по секции шин I РУ-0,4 кВ	13	-	719	7,33	1,23	292,8	212,0	362,1	556,9	720,1
Секция шин II РУ-0,4 кВ										
Насос сетевой	2	320	640	-	-	256,0	186,9	317,0	487,6	-
Насос охлаждения	2	15	30	-	-	12,0	8,8	14,9	22,9	-
Задвижки	3	6	18	-	-	4,8	3,5	5,9	9,1	-
Задвижки	2	8,5	17	-	-	6,8	4,8	8,3	12,8	-
Вентилятор	1	1,5	1,5	-	-	1,2	0,8	1,7	2,6	-
Сварочный пост	1	10	10	-	-	7,8	5,5	9,6	14,7	-
Рабочее освещение	1	2	2	-	-	3,7	1,6	4,1	6,3	-
Аварийное освещение	1	0,5	0,5	-	-	0,5	0,1	0,6	0,9	-
Всего по секции шин I РУ-0,4 кВ	13	-	719	7,33	1,23	292,8	212,0	362,1	556,9	720,1
Всего по РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ	26	-	1438	7,33	1,23	585,6	414,0	724,2	1113,8	1440,2

Результаты нагрузок используются для выбора и проверки трансформаторов, проводников и аппаратов. При этом в работе используются как значения расчётных нагрузок секций сборных шин подстанции, так и значения расчётных нагрузок присоединений потребителей, а также результаты расчётов нагрузок всей КТП 10/0,4 кВ г. Костомукша.

2.2 Выбор компенсирующих устройств на КТП 10/0,4 кВ

При выборе мощности трансформаторов на подстанциях цехового типа 6(10)/0,4 кВ, предварительно рекомендуется обеспечить необходимую степень компенсации реактивной мощности потребителей системы электроснабжения согласно рекомендациям [5].

В результате проведённого анализа, установлено, что основными потребителями тепловой насосной станции ТНС-3 является активно-индуктивная двигательная нагрузка (электродвигатели насосов сетевых и насосов охлаждения, задвижек, вентиляторов), которая, как известно, имеет значительную реактивную составляющую [11].

Следовательно, расчёт и выбор устройств для компенсации реактивной мощности потребителей тепловой насосной станции ТНС-3, реализуемый на питающей КТП 10/0,4 кВ, в работе является актуальной и необходимой задачей.

При установке устройств компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, на объекте исследования будет компенсирована реактивная мощность во всей системе электроснабжения как потребителей, так и самой системе электроснабжения коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша.

Такая компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения называется централизованной и наиболее широко распространена среди способов компенсации реактивной мощности (далее – КРМ).

На питающей КТП 10/0,4 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, «расчётная реактивная мощность компенсирующего устройства 0,4 кВ для установки на шинах РУ-0,4 кВ» [14] КТП 10/0,4 кВ:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_k), \text{ квар.} \quad (14)$$

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 585,6 \cdot (0,52 - 0,39) = 68,5 \text{ квар.}$$

Так как на КТП 10/0,4 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша установлено два силовых трансформатора, следовательно, число устройств для компенсации реактивной мощности должно быть парным, поэтому выбирается для установки две комплектные конденсаторные установки типа КРМ-0,4-30-2,5-54У3 [8].

При этом суммарная мощность выбранных КУ на всей КТП 10/0,4 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша составляет $2 \cdot 30 = 60$ квар [6].

Значение стандартных реактивных мощностей КУ, большее расчётного значения, выбирать нельзя, так как при этом будет наблюдаться явление перекомпенсации реактивной нагрузки и сдвига фазы в сторону емкостной составляющей реактивной нагрузки [16].

«Таким образом» [11]

$$tg\varphi_k = tg\varphi - \frac{Q_p + Q_{к.см.}}{\alpha \cdot P_p}, \text{ квар.} \quad (15)$$

$$tg\varphi_k = 1,32 - \frac{414 + 60}{0,9 \cdot 585,6} = 0,42.$$

После установки устройств КРМ, фактический коэффициент реактивной мощности будет равен $tg\varphi_k = 0,42$, что соответствует значению коэффициента активной мощности, равного $\cos\varphi_k = 0,925$, являющийся весьма хорошим техническим результатом для энергосистемы [18].

С учётом КРМ [8] нагрузки в системе электроснабжения КТП-10/0,4 кВ объекта:

$$P_p = 585,6 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 414 - 60 = 354 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{585,6^2 + 354^2} = 684,3 \text{ кВА.}$$

2.3 Проверка силовых трансформаторов КТП 10/0,4 кВ

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 до проведения реконструкции и ввода новых потребителей, были установлены два силовых трансформатора ТМ-1000/10.

Проводится проверка мощности этих трансформаторов на соответствие потребляемой нагрузке, с учётом подключения новых потребителей на тепловой насосной станции ТНС-3.

Как известно, «номинальная мощность силового трансформатора для его установки на подстанции» [13] переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, определяется с учётом возможного и перспективного питания сторонней нагрузки (в случае её наличия), по условию [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p + P_{\text{см.}}}{N\beta_T}, \quad (16)$$

где $S_{\text{ном.т.}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового

трансформатора подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;

$S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;

P_p – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;

$P_{\text{см.}}$ – «суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3.

По условию выбора (16), с учётом отсутствия в схеме подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 сторонних потребителей:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{585,6}{2 \cdot 0,7} = 418,3 \text{ кВА.}$$

Исходя из результатов расчёта, для установки на КТП 10/0,4 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша, предлагается в работе выбрать два силовых трансформатора марки ТМГ-630/10.

Данный тип трансформатора выполняется без наличия расширительного бака и герметичен, таким образом он зарекомендовал себя значительно лучше, чем аналогичные трансформаторы марок ТМ и ТМЗ.

Он имеет две обмотки и выбран для применения в условиях умеренного климата.

Силовой трансформатор марки ТМ-1000/10 кВ, который был установлен на подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, после реконструкции использовать в схеме технически нежелательно, так как его загрузка будет очень низкая и потери холостого хода, а также величина реактивной мощности в системе электроснабжения значительно возрастут.

Как правило, такая замена типоминимала трансформатора на другой, меньшей мощности, с учётом приведённых выше факторов, окупается в среднем за 3-4 года за счёт значительного уменьшения потерь электроэнергии и перетоков реактивной мощности [12].

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в нормальном режиме» [12]

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,7. \quad (17)$$

Проверка выбранных трансформаторов на подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 «в нормальном режиме выполняется» [14]

$$K_3^H = \frac{585,6}{630 \cdot 2} = 0,46 \leq 0,7.$$

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в максимальном режиме» [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (18)$$

Проверка трансформаторов подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в ПАВ режиме выполняется:

$$K_3^{n.ав} = \frac{585,6}{630 \cdot (2-1)} = 0,93 \leq 1,4.$$

Все условия проверок для силовых трансформаторов марки ТМГ-630/10 выполнены.

Поэтому они могут быть рекомендованы к установке на объекте исследования после проведения реконструкции.

Установка данных трансформаторов меньшего типоминнала марки ТМГ-630/10, по сравнению с ранее установленными трансформаторами марки ТМ-1000/10, позволит добиться значительной экономии денежных ресурсов за счёт уменьшения нагрузочных потерь электроэнергии, значения реактивной составляющей и уменьшения расходов на эксплуатацию [2].

Конструктивное выполнение КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 представлено в работе на графическом листе 3.

2.4 Выбор сечения кабельных линий КТП 10/0,4 кВ

Далее необходимо провести выбор сечения кабельных линий КТП 10/0,4 кВ, а также всей системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3, питающейся от данной подстанции.

В работе необходимо выбрать сечения следующих кабельных линий, с последующими необходимыми проверками:

- питающая кабельная линия напряжением 10 кВ (два силовых кабеля для питания трансформаторов КТП 10/0,4 кВ по радиальной схеме с резервированием);
- кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ для питания потребителей тепловой насосной станции ТНС-3 от шин РУК-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ (силовые кабели по радиальной схеме с резервированием на шинах РУ-0,4 кВ).

Питающая кабельная линия напряжением 10 кВ КТП 10/0,4 кВ подлежит выбору по экономической плотности тока с проверкой по условиям допустимого перегрева и допустимых потерь напряжения [13].

Далее в работе проводится практический расчёт и выбор сечения и марки питающая кабельная линия напряжением 10 кВ КТП 10/0,4 кВ по методике [7].

Расчётный «рабочий ток линии» [7]

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (19)$$

«Максимальный расчётный ток линии» [11]:

$$I_{p. max} = 1,4 I_{p. max} \quad (20)$$

«Условие проверки» [11]:

$$I_{don} \geq I_{p.max}, \quad (21)$$

где « I_{don} – длительно – допустимый ток силового кабеля стандартного сечения, А» [1];

« $I_{p.max}$ – максимальный ток участка (линии) с учётом перегрузок и резервирования, А» [1].

«Проводники напряжением выше 1 кВ выбираются по экономической плотности тока» [1]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}}. \quad (22)$$

В результате проверочного выбора силовых трансформаторов КТП 10/0,4 кВ в работе ранее, было рекомендовано использовать на подстанции два силовых трансформатора марки ТМГ-630/10 с номинальной мощностью 630 кВА.

Эта стандартная мощность принимается в качестве расчётной при выборе питающей кабельной линии на стороне 10 кВ КТП 10/0,4 кВ.

Следовательно, с учётом этих фактов:

$$I_{p.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А.}$$

$$F_{\text{э}} = \frac{36,4}{1,6} = 22,7 \text{ мм}^2.$$

Исходя из результатов расчёта, для КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, принимается сечение на питающей кабельной линии 10 кВ, равное 25 мм^2 с предельным допустимым током нагрева при прокладке в земле $I_{don}=115 \text{ А}$ [12].

Максимальный расчётный ток на питающей кабельной линии 10 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 36,4 \approx 51 \text{ A.}$$

Условия проверки питающей кабельной линии 10 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 по условию допустимого нагрева в послеаварийном режиме, выполняется:

$$90 \text{ A} \geq 51 \text{ A.}$$

Следовательно, исходя из полученных результатов, для питающей кабельной линии 10 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 окончательно выбран силовой кабель марки АСБ-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее.

Для питания потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки АВБбШвнг при питании от шин РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ по радиальной схеме без ответвлений.

Данная марка кабелей характеризуется хорошими показателями надёжности за счёт сочетания высококачественной термостойкой изоляции и брони, а также использования сектороподобных токопроводящих жил, улучшающих токопроводимость кабеля.

Выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ для питания потребителей объекта осуществляется по условиям допустимого перегрева (приведены в работе ранее).

Результаты выбора кабельных линий 0,38/0,22 кВ для питания потребителей тепловой насосной станции ТНС-3, в работе приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора сечения кабелей сети 0,38/0,22 кВ для питания потребителей тепловой насосной станции ТНС-3

Потребитель	I_p , А	Марка кабеля	$I_{доп}$, А
Секция шин I РУ-0,4 кВ			
Насос сетевой	487,6	2АВБбШвнг (5×150)	2×255=510 А
Насос охлаждения	22,9	АВБбШвнг (5×6)	28,0
Задвижки	9,1	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0
Задвижки	12,8	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0
Вентилятор	2,6	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0
Сварочный пост	14,7	АВБбШвнг (5×4)	19,0
Рабочее освещение	6,3	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0
Аварийное освещение	0,9	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0
Секция шин II РУ-0,4 кВ			
Насос сетевой	487,6	2АВБбШвнг (5×150)	2×255=510 А
Насос охлаждения	22,9	АВБбШвнг (5×6)	28,0
Задвижки	9,1	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0
Задвижки	12,8	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0
Вентилятор	2,6	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0
Сварочный пост	14,7	АВБбШвнг (5×4)	19,0
Рабочее освещение	6,3	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0
Аварийное освещение	0,9	АВБбШвнг (5×2,5)	14,0

Все выбранные проводники как питающей (10 кВ), так и распределительной (0,4 кВ) сетей подстанции, удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте в результате реконструкции.

По этой причине все кабельные линии как питающей, так и распределительной сети напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, принимаются для их установки на реконструируемой КТП 10/0,4 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша.

Результаты выбора линий питающей (10 кВ) и распределительной (0,4 кВ) сетей подстанции показаны в графической части работы на листе 2.

2.5 Определение токов короткого замыкания

Далее необходимо провести определение токов короткого замыкания в системе электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3. Так как на КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в результате проведения её

реконструкции установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора мощностью 630 кВА каждый, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 0,4 кВ за ними будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на подстанции остаётся один силовой трансформатор, который выдерживает нагрузку всех потребителей подстанции, что проверено в работе ранее.

«Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ» [15] в максимальном режиме на КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 представлена в работе на рисунке 2.

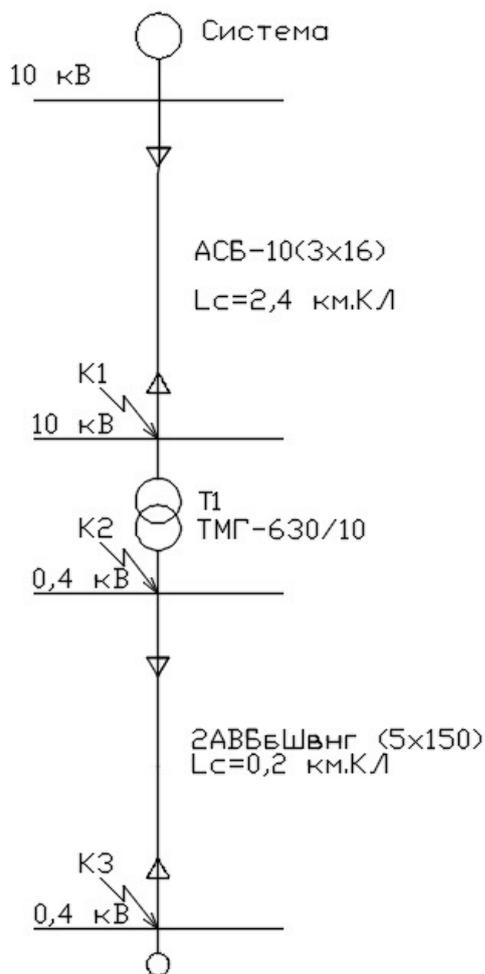


Рисунок 2 – «Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ» [16]

В данной схеме на рисунке 2, введены следующие допущения и позиции: Т2 – отключён, питание Т1 – по одной линии 10 кВ).

Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме на КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 представлена в работе на рисунке 3.

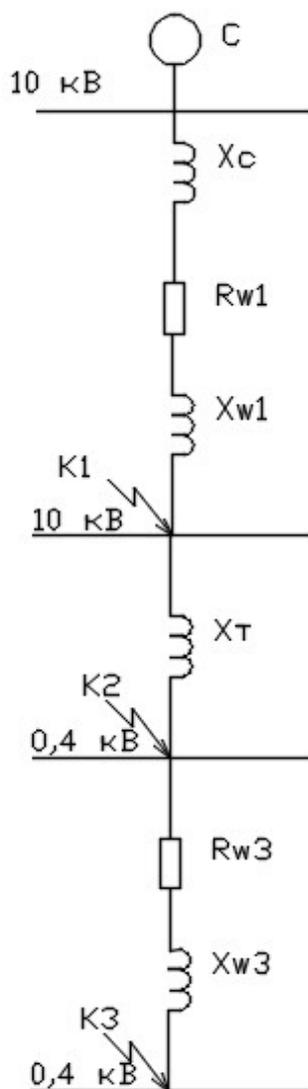


Рисунок 3 – Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме на КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 10 кВ. Мощность энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 [16]. Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3:

$$S_{\sigma} = 630 \text{ кВА} = 0,63 \text{ МВА.}$$

Базисное напряжение схемы КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 определяется так [6]:

$$U_{\sigma.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (23)$$

По условию (23):

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

$$U_{\sigma.2} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{кВ.}$$

Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 [8]:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (24)$$

По условию (24):

$$I_{\sigma 1} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,03 \text{ кА.}$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,9 \text{ кА.}$$

«Значение индуктивного сопротивления КЛ» КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, с учётом длины линии и удельных сопротивлений кабеля, для каждой цепи линии [16]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (25)$$

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,005 \text{ o.e.}$$

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,0135 \text{ o.e.}$$

Известно, что при расчёте токов КЗ в сетях 6(10)/0,4 кВ необходимо учитывать активные сопротивления всех элементов схемы замещения [8].

«Значение активного сопротивления КЛ» [8]

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{y0.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (26)$$

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,006 \text{ o.e.}$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,093 \text{ o.e.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16]

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T}}. \quad (27)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,63}{0,63} = 0,0525 \text{ o.e.}$$

Максимальное значение токов трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 определяется по известному выражению [16]

$$I_k^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (28)$$

«Полное сопротивление цепи КЗ до расчётных точек и ток КЗ» [16]

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (29)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,005)^2 + 0,006^2} = 0,012 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,03 = 1,25 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}. \quad (30)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525)^2 + 0,006^2} = 0,062 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,062} \cdot 0,9 = 3,71 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (31)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525 + 0,0135)^2 + (0,006 + 0,093)^2} = 0,125 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1}{0,125} \cdot 0,9 = 1,84 \text{ кА.}$$

«Ударный ток при максимальном значении трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы)» [16] КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (32)$$

Численное значение ударного тока при максимальных значениях трёхфазных токов КЗ в расчётных точках схемы КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3

$$i_{y\partial.\kappa 1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА.}$$

$$i_{y\partial.\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА.}$$

$$i_{y\partial.\kappa 3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА.}$$

Минимальное значение токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 определяется по известному выражению [16]

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (33)$$

Численное значение минимальных токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3:

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,25 = 1,08 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,71 = 3,21 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,84 = 1,59 \text{ кА.}$$

«Все полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания (трёхфазного, двухфазного), а также ударных токов, выполненных в расчётных точках КЗ схемы понизительной подстанции» [19] КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, приведены в форме таблицы 5.

«Таблица 5 – Результаты расчетов токов короткого замыкания в расчётных точках схемы на понизительной подстанции г. Костомукша») [19]

Параметр	Единица измерения	Числовое значение параметра		
		Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_{\kappa}^{(3)}, \text{кА}$	кА	1,25	1,08	2,47
$I_{\kappa}^{(2)}, \text{кА}$	кА	3,71	3,21	5,25
$i_{\text{уд.к}}, \text{кА}$	кА	1,84	1,59	2,60

Полученные результаты применяются в работе далее.

2.6 Выбор электрических аппаратов

Ранее в работе, на основании соответствующих проверок и расчётов, были внедрены следующие мероприятия по реконструкции тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, для которых нужно выбрать новое современное оборудование (электрические аппараты в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ):

- ввод в эксплуатацию новых потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ в связи с реконструкцией насосного парка;
- замена силовых трансформаторов на КТП 10/0,4 кВ с трансформаторов марки ТМ-1000/10 на трансформаторы марки ТМГ-630/10.

Следовательно, в связи с данными мероприятиями по реконструкции, необходимо установить для них новые, современные аппараты в сети 10 кВ и 0,4 кВ.

Все новые, модернизированные аппараты должны быть установлены на КТП 10/0,4 кВ в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ.

Одним из этапов предложенных мероприятий по реконструкции рассматриваемой в работе подстанции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша является модернизация оборудования РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ.

Известно, что внедрение принятых решений по модернизации оборудования подстанции повысит показатели энергоэффективности и является одной из ключевых тенденций управления развитием системы электроснабжения.

Разработанные и внедрённые мероприятия по модернизации оборудования позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

В работе при модернизации оборудования подстанции необходимо учесть критерии, являющиеся определяющими при выборе современного типа оборудования подстанций.

Известно, что современные технические решения по модернизации оборудования подстанций включают применение нового инновационного оборудования, которое характеризуется следующими техническими и экономическими критериями [19,20]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования (критерий 1);
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем (критерий 2);
- стабильное отключение больших токов (критерий 3);
- применение современных способов гашения электрической дуги (критерий 4);
- повышенная электробезопасность (критерий 5);
- экологическая безопасность (критерий 6);
- пожаробезопасность (критерий 7);
- взрывобезопасность (критерий 8);
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт (критерий 9);
- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений (критерий 10);
- возможность дальнейшей модернизации (критерий 11).

«С учётом данных критериев, выбор конкретных марок данных аппаратов для их непосредственной установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ понизительной подстанции» [19] КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, проводится в работе далее.

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

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (34)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (35)$$

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

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (36)$$

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

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (37)$$

где « $\beta_{ном}$ – номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе» [12];

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

«Проверка аппаратов на электродинамическую стойкость [12]:

– «по номинальному току отключения» [5]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (38)$$

– «по отключению ударного тока» [5]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (39)$$

где « $i_{дин.}$ – номинальный ток электродинамической стойкости» [12].

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (40)$$

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

По приведённым выше формулам, далее в работе проводится выбор и проверка нового оборудования для его установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ г. Костомукша.

Так как на подстанции в результате проведения реконструкции используются два одинаковых силовых трансформатора по номинальным мощностям и типам (ТМГ-630/10), необходимо проводить выбор нового модернизированного оборудования в цепи одного силового трансформатора (как на стороне 10 кВ, так и на стороне 0,4 кВ подстанции).

Следовательно, выбор оборудования для второго трансформатора КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, результаты будут полностью аналогичные.

Для примера проводится выбор и проверка «выключателя для защиты и коммутации КТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ, установленном на питающем РП энергосистемы 10 кВ» [19]:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 10 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 20,2 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,0 \text{ кА}.$$

$$i_{пр.скв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,27 \text{ кА}.$$

«Окончательно выбирается для установки на питающем РП-10 кВ для защиты и коммутации» [19] КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, вакуумный выключатель номинального напряжения 10 кВ марки VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция).

«Аналогично осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов 10 кВ (коммутационных, защитных и регулирующих)» [19] для их установки в РУ-10 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, а также и на питающем ЦРП-2 10 кВ, с «приведением полученных результатов в работе результатов в таблице 6» [19].

«Таблица 6 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ» [19]

Наименование аппарата	Марка (типономинал) аппарата
Выключатель (питающий РП-10 кВ)	VD-4-10-8/630 У2
Предохранитель	ПК-10-60-31,5/У3
Трансформатор тока	ТПОЛМ-10
Трансформатор напряжения	НТМИ-10
Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1
Выключатель нагрузки	ВНПу-10/ 400-10-У3

Далее в работе проводится выбор и проверка аппаратов в сети 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3.

В схеме электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, автоматы устанавливаются в шкафах РУ-0,4 кВ на КТП 10/0,4 кВ, непосредственно защищая потребители насосного парка и осветительной сети объекта. Автоматы в сети 0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, выбираются по условиям, приведённым ниже.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (41)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (42)$$

«Ток электромагнитного расцепителя» [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_{к}. \quad (43)$$

«В случае, если автомат выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем, зависящим от тока уставки теплового расцепителя» [19]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}. \quad (44)$$

где « K – кратность тока уставки ЭМ-расцепителя» [19].

Выбор автоматических выключателей системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 для защиты и управления питающей сети её потребителей осуществлён аналогично (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты выбора автоматов для защиты и управления питающей сети 0,38/0,22 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3

Потребитель	I_p , А	Марка автомата	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А
Вводные и секционные автоматы					
Вводной автомат КТП 10/0,4 кВ	969,2	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат КТП 10/0,4 кВ	969,2	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секция шин I РУ-0,4 кВ					
Насос сетевой	487,6	ВА 57-39	630	630	1890
Насос охлаждения	22,9	ВА 47-29	25	25	75
Задвижки	9,1	ВА 47-29	10	10	30
Задвижки	12,8	ВА 47-29	16	16	48
Вентилятор	2,6	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
Сварочный пост	14,7	ВА 47-29	16	16	48
Рабочее освещение	6,3	ВА 47-29	10	10	30
Аварийное освещение	0,9	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
Секция шин II РУ-0,4 кВ					
Насос сетевой	487,6	ВА 57-39	630	630	1890
Насос охлаждения	22,9	ВА 47-29	25	25	75
Задвижки	9,1	ВА 47-29	10	10	30
Задвижки	12,8	ВА 47-29	16	16	48
Вентилятор	2,6	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
Сварочный пост	14,7	ВА 47-29	16	16	48
Рабочее освещение	6,3	ВА 47-29	10	10	30
Аварийное освещение	0,9	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9

Все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты, выбранные для установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Исходя из полученных проверочных результатов, они могут быть применены в данных технических условиях системы электроснабжения объекта проектирования.

Все электрические аппараты, выбранные в работе, показаны в графической части проекта.

2.7 Разработка мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту КТП 10/0,4 кВ

Далее в работе проводится разработка мероприятий по монтажу оборудования вводимой в эксплуатацию подстанции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений последней.

В работе КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 выполняется в виде комплектной трансформаторной подстанции наружного исполнения, поэтому её монтаж состоит из следующих основных блоков:

- составление проектной документации и ведомости монтажных работ оборудования КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;
- подготовка места установки КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;
- закупка и доставка оборудования КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 на место монтажа;
- установка сборных конструкций КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;
- монтаж основного оборудования КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в такой последовательности: монтаж силовых трансформаторов, аппаратов РУ-10 кВ, аппаратов РУ-0,4 кВ;
- соединение и фазировка первичных силовых цепей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;
- монтаж вторичных цепей коммутации КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, включающих монтаж релейной защиты, автоматики, блокировок, сигнализации, телеизмерений, средств учёта и контроля электроэнергии;
- проверка работоспособности полного комплекса КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 путём детальной «прозвонки» всех сетей и цепей;

- подключение внешних источников питания КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;
- пробное включение в работу КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 под напряжением;
- устранение возможных дефектов, наладка всех цепей и механизмов КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;
- приёмо-сдаточные испытания КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;
- окончательное включение в работу КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3;
- составление и согласование акта выполненных работ по монтажу КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3.

Все работы по монтажу КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 проводятся согласно принятых актов и нормативных документов по технике безопасности, технических нормативов и технической документации.

Все работы по непосредственному монтажу КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 выполняются силами монтажных и ремонтных бригад данной организации.

Если есть необходимость, привлекают сторонних специалистов (в основном, для тонкой наладки оборудования, а также перед вводом объекта в эксплуатацию путём его пробного пуска).

За правильность монтажных работ, а также за техническую исправность смонтированного оборудования и сетей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, несёт ответственность главный инженер тепловой насосной станции ТНС-3.

Далее в работе проводится разработка мероприятий по эксплуатации оборудования вводимой в эксплуатацию подстанции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений последней.

В работе КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 выполняется в виде комплектной трансформаторной подстанции наружного исполнения, поэтому её эксплуатация состоит из следующих основных блоков:

- периодический надзор и системный осмотр за силовыми трансформаторами КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3. При этом проверяется внешний вид трансформаторов, температура обмоток, состояние контактных соединений, отсутствие повреждений, характер гула трансформаторов, отсутствие посторонних предметов, состояние релейной защиты и автоматики. В случае перегрева обмоток, необходимо понизить температуру двумя способами: созданием дополнительного вентиляционного потока и уменьшением нагрузки силовых трансформаторов;
- периодический надзор и системный осмотр за оборудованием РУ-10 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3. При этом проверяется внешний вид оборудования, температура корпуса аппаратов, состояние контактных соединений, отсутствие повреждений, отсутствие посторонних предметов, состояние блокировок, а также устройств релейной защиты, автоматики, сигнализации и телемеханики. Особое внимание уделяется отсутствию искрения и посторонних звуков во время срабатывания аппаратуры РУ-10 кВ, которые могут быть причиной выхода оборудования из строя;
- периодический надзор и системный осмотр за оборудованием РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3. При этом проверяется внешний вид оборудования, температура корпуса аппаратов, состояние контактных соединений, отсутствие повреждений, отсутствие посторонних предметов, техническое состояние блокировок. Особое внимание уделяется отсутствию искрения и посторонних звуков во время срабатывания аппаратуры РУ-0,4 кВ, которые могут быть причиной выхода оборудования из

строю. При необходимости, проблемный аппарат может быть проверен во время его непосредственной работы под напряжением (в отличие от аппаратов РУ-10 кВ);

- периодический надзор и системный осмотр за кабельными линиями КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3. При этом особое внимание уделяется техническому состоянию муфт (соединительных, стопорных и концевых), а также проверяется внешний вид трассы кабельных линий, температура и ток кабелей. В случае перегрева кабельных линий, необходимо понизить температуру двумя способами: созданием дополнительного вентиляционного потока и уменьшением нагрузки кабелей.

Все работы по эксплуатации КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 проводятся согласно принятых актов и нормативных документов по технике безопасности, технических нормативов и технической документации.

Все работы по эксплуатации КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 выполняются силами эксплуатационных и диспетчерских бригад данной организации.

Также необходимо проводить согласование сроков и мероприятий эксплуатации с технической документацией заводов-изготовителей оборудования.

Ответственность за эксплуатацию оборудования КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, несёт ответственность главный инженер данной организации.

Далее в работе проводится разработка мероприятий по ремонту оборудования вводимой в эксплуатацию подстанции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений последней.

Известно, что существуют следующие виды ремонта [3]:

- текущий ремонт – оборудование частично разбирают, приводят в исправное техническое состояние нужные части, узлы и механизмы. Проверки только частичные (по мере необходимости);
- капитальный ремонт – выполняется с полной разборкой оборудования и полной или частичной заменой важнейших узлов и механизмов. Проверки, как правило, полные.

При текущем ремонте оборудование вводимой в эксплуатацию подстанции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 проверяют на соответствующее техническое состояние, проводят его частичную разборку, удаление пыли и грязи, смазывают основные механизмы и узлы.

У трансформаторов особое внимание уделяют состоянию обмоток и магнитопровода, а также вводов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, проверяя их целостность и работоспособность.

У электрических аппаратов особое внимание уделяют контактным системам, зачищают от грязи и пыли контактные соединения, а также токоведущие части.

У кабельных линий проводят полную проверку и очистку всей трассы, проверку их на допустимый нагрев, а также отсутствие пробоя в линии.

При капитальном ремонте всю подстанцию КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 снимают с основания и перевозят в ремонтный цех.

При этом полностью разбирают основные узлы и механизмы, заменяют контакты у аппаратов, которые выработали свой ресурс, вводы у трансформаторов.

Также у трансформаторов при капитальном ремонте снимают обмотки и расшихтовывают магнитопровод трансформаторов, где проводят полный осмотр и проверку на наличие «пожара стали», целостности, герметичности и других технических условий.

Все работы по ремонту оборудования КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 проводятся согласно принятых актов и нормативных

документов по технике безопасности, технических нормативов и технической документации.

Все ремонтные работы выполняются силами ремонтных бригад данной организации.

Также необходимо проводить согласование сроков и мероприятий по ремонту оборудования с технической документацией заводов-изготовителей оборудования.

Ответственность за ремонт оборудования КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, несёт ответственность главный инженер данной организации.

Данные мероприятия должны быть приняты к сведению.

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по реконструкции электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования понизительной подстанции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей подстанции в целом с учётом реконструкции схемы электрических соединений путём подключения дополнительных потребителей;
- выбор силовых трансформаторов с учётом реконструкции схемы подстанции;
- выбор и проверка проводников на подстанции;
- определение токов короткого замыкания на подстанции;
- выбор и проверка электрических аппаратов;
- разработку и описание основных мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту КТП 10/0,4 кВ.

Также в работе, на основе расчёта электрических нагрузок установлено, что в результате модернизации подстанции, необходимо установить два силовых трансформатора марки ТМГ-630/10, которые выдержат перегрузку в послеаварийном режимах работы.

Данный тип трансформатора выполняется без наличия расширительного бака и герметичен, таким образом он зарекомендовал себя значительно лучше, чем аналогичные трансформаторы марок ТМ и ТМЗ.

Он имеет две обмотки и выбран для применения в условиях умеренного климата.

Силовые трансформаторы марки ТМ-1000/10 кВ, которые были установлены на подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, после реконструкции использовать в схеме технически нежелательно, так как его загрузка будет очень низкая и потери холостого хода, а также величина реактивной мощности в системе электроснабжения значительно возрастут.

Как правило, такая замена типономинала трансформатора на другой, меньшей мощности, с учётом приведённых выше факторов, окупается в среднем за 3-4 года за счёт значительного уменьшения потерь электроэнергии и перетоков реактивной мощности [12].

Установка данных силовых трансформаторов меньшего типономинала марки ТМГ-630/10, по сравнению с ранее установленными трансформаторами марки ТМ-1000/10, позволит добиться значительной экономии денежных ресурсов за счёт уменьшения нагрузочных потерь электроэнергии, значения реактивной составляющей и уменьшения расходов на эксплуатацию, монтаж и ремонт оборудования КТП 10/0,4 кВ, в том числе и самих силовых трансформаторов.

Выбраны и проверены сечения кабельных линий электропередачи на КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, включая питающую линию 10 кВ и отходящие линии 0,4 кВ питающей и распределительной сети объекта.

Исходя из полученных результатов, для питающей кабельной линии 10 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 окончательно выбран силовой кабель марки АСБ-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее.

Для питания потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки АВБбШвнг при питании от шин РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ по радиальной схеме без ответвлений.

Данная марка кабелей характеризуется хорошими показателями надёжности за счёт сочетания высококалассной термостойкой изоляции и брони, а также использования сектороподобных токопроводящих жил, улучшающих токопроводимость кабеля.

В связи с вводом новых потребителей и заменой силовых трансформаторов на КТП 10/0,4 кВ, выбраны и проверены новые современные коммутационные аппараты и аппараты управления напряжением 10 кВ и 0,4 кВ.

Все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты, выбранные для установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Приведены основные мероприятия по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования и сетей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3.

Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

Описанные мероприятия могут быть приняты к сведению при практической реализации данного проекта.

3 Расчёт релейной защиты и автоматики КТП 10/0,4 кВ

3.1 Выбор блоков РЗиА

Далее в работе проводится выбор устройств релейной защиты и автоматики системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, а также выбор уставок их срабатывания.

Для защиты системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, в качестве блоков релейной защиты и автоматики (далее – РЗиА) выбираются следующие современные блоки РЗиА на микропроцессорной основе, которые лишены недостатков устаревших индукционных и электромагнитных реле.

Такие микропроцессорные блоки РЗиА способны выполнять тысячи операций в единицу времени, что эквивалентно сотням старых индукционных и электромагнитных реле.

Кроме того, такие микропроцессорные блоки значительно надёжны и компактны, а также не требуют таких значительных затрат на монтаж, ремонт, наладку и эксплуатацию, как старые реле электромагнитного или индукционного типа.

Условия выбора микропроцессорных блоков РЗиА следующие:

- блок должен реализовывать все основные защиты элементов системы электроснабжения;
- работа защит микропроцессорного блока должна быть согласованной и надёжной;
- микропроцессорная система блока должна обладать быстродействием и избирательностью;
- система должна иметь возможность быстрой перестройки параметров уставок защит в зависимости от требуемых данных.

Структурная схема микропроцессорного устройства блоков РЗиА представлена в работе на рисунке 4.

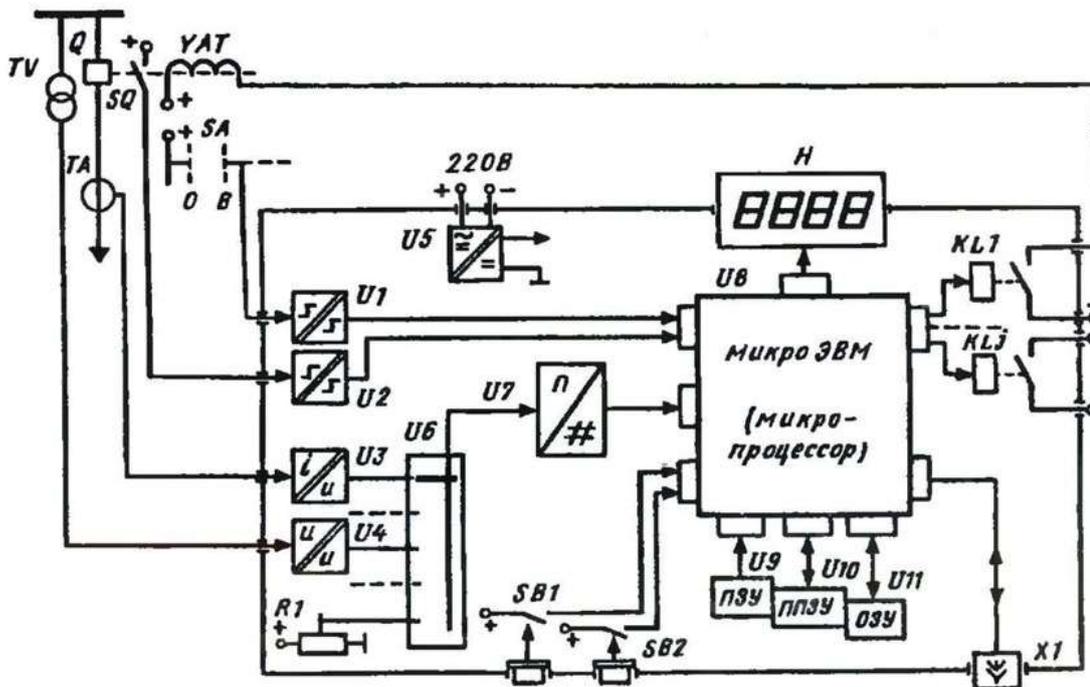


Рисунок 4 – Структурная схема микропроцессорного устройства блоков РЗиА

Исходя из требований, предъявляемых к современным блокам РЗиА на микропроцессорной основе, в работе для установки на питающем РП-10 кВ для защиты системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, выбираются современные блоки РЗиА типа SMPR 155R производства Orion Italia S.R.L.

На таких микропроцессорных блоках РЗиА реализуются все основные функции системы, они включают в себя несколько выходов, которые могут быть запрограммированы для различных функций и целей.

Кроме того, такие блоки значительно надёжны и компактны, а также не требуют таких значительных затрат на монтаж, ремонт, наладку и эксплуатацию, как старые реле.

Для применения на объекте выбрана модификация блока РЗиА марки SMPR 155R производства Orion Italia S.R.L., в которую входят основные релейные защиты трансформаторов, отходящих линий и секционных соединений, которые присутствуют на объекте исследования.

Внешний вид и основной функционал выбранной модификации микропроцессорного блока РЗиА марки SMPR 155R производства Orion Italia S.R.L., представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид и основной функционал выбранной модификации микропроцессорного блока РЗиА марки SMPR 155R производства Orion Italia S.R.L. для применения в системе электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша

Далее в работе проводится выбор и расчёт токов и времени срабатывания основных релейных защит выбранного блока РЗиА.

3.2 Расчёт токов и времени срабатывания защит

Далее в работе проводится расчёт релейной защиты и автоматики для защиты системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, реализуемый на базе микропроцессорного блока РЗиА марки SMPR 155R производства Orion Italia S.R.L [17].

Известно, что релейная защита и автоматика (далее – РЗА) устанавливается на выключателях высокого напряжения, действуя на их привод.

Таким образом, в работе необходимо выбрать уставки РЗА для защиты системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, установив её на выключателях в ячейках питающего РП-10 кВ, который защищает и коммутирует данную подстанцию.

В виду того, что указанная КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша выполнена с двумя трансформаторами по радиальной схеме, следовательно, выключателей в установке РП-10 кВ для её защиты и коммутации, будет также два.

Известно, что для расчёта уставок РЗА на первом этапе необходимо определить [9]:

- первичный ток измерительных трансформаторов тока (далее – ТТ).
При этом вторичный ток ТТ принимается равным 5 А на всех присоединениях схемы;
- коэффициент трансформации ТТ.

Данные параметры определяются, исходя из значения максимальных рабочих токов, рассчитанных в работе ранее (при выборе сечений проводников).

При выборе первичных токов ТТ применяется таблица стандартных токов [18].

В работе принимается схема соединения ТТ и релейных элементов блока микропроцессорной защиты в полную звезду.

При таком соединении схема будет надёжной, так как будет реагировать на все виды повреждений во всех фазах.

Исходя из этого, полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ для основной и резервной защиты КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, приводятся в работе в форме таблицы 8.

Таблица 8 – Результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ для защиты КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша

Наименование линии (присоединения)	$I_{p,max}$, А	$I_{ТТ1}$, А	$I_{ТТ2}$, А	K_T
Основная защита				
Линия - трансформатор Т1	51,0	75	5	15
Линия - трансформатор Т2	51,0	75	5	15
Резервная защита				
Линия - трансформатор Т1	76,5	80	5	16
Линия - трансформатор Т2	76,5	80	5	16

Резервная защита линий срабатывает в случае отказа основной защиты. Её максимальные рабочие токи принимаются с коэффициентом запаса по сравнению с основной защитой.

Такая функция также реализуется на базе микропроцессорного блока РЗиА марки SMPR 155R производства Orion Italia S.R.L.

Так как в работе применяются новейшие микропроцессорные блоки, значит, расчёт уставок основных защит должен проводиться по упрощённой методике, без учёта коэффициентов самозапуска, надёжности и возврата, которые присущи только устаревшим индукционным и электромагнитным реле [8].

Ток срабатывания защит от внутренних повреждений в микропроцессорных блоках определяется с учётом коэффициента отстройки от максимального рабочего тока по следующему условию [8]:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot I_m, \quad (45)$$

где K_o – коэффициент отстройки;

I_m – максимальный ток линии, А.

Ток срабатывания защит от внешних повреждений в микропроцессорных блоках определяется с учётом коэффициента отстройки от максимального тока КЗ по следующему условию [8]:

$$I_{c.з} \geq K_{отс} \cdot I_k. \quad (46)$$

Для всех защит принимаются различные значения коэффициента отстройки (в зависимости от типа защит и назначения – основная или резервная).

При этом действительный ток срабатывания защит (ток срабатывания релейного микропроцессорного элемента) с учётом коэффициента трансформации ТТ при коэффициенте схемы, равном единице (соединение ТТ и блоков РЗА в полную звезду):

$$I_{c.р} \geq \frac{I_{c.з}}{K_m}, \quad (47)$$

где K_m – коэффициент трансформации трансформатора тока, установленного на линии.

В работе применяются следующие виды защит и устройств автоматики для защиты линии «выключатель РП-10 кВ – КТП 10/0,4 кВ объекта»:

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

МТЗ является защитой от внутренних повреждений, поэтому она отстраивается от максимального рабочего тока с $K_o = 1,1$.

Селективность МТЗ обеспечивается подбором времени срабатывания (начиная от источника к потребителю).

Поэтому предварительно можно принять время срабатывания МТЗ на данной линии $t_{c.з} = 1$ с [6].

Дальнейшее согласование времени срабатывания защит необходимо провести после уточнения времени срабатывания защиты на источнике питания [8].

Уставка срабатывания основной МТЗ линии «выключатель РП-10 кВ – КТП 10/0,4 кВ объекта»:

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 51 = 56,1 \text{ А.}$$

Уставка срабатывания резервной МТЗ линии «выключатель РП-10 кВ – КТП 10/0,4 кВ объекта» (в случае отказа основной защиты):

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 76,5 = 84,15 \text{ А.}$$

ДЗ является основной защитой от внешних повреждений, поэтому отстраивается от максимального тока КЗ с $K_o = 1,3$.

ДЗ выполняется без выдержки времени (мгновенная основная защита без выдержки времени).

Для основной и резервной ДЗ принимается:

$$I_{c.з} \geq 1,3 \cdot 1,25 = 1,63 \text{ кА.}$$

ЗОЗ является основной мгновенной защитой от однофазных замыканий на землю.

Учитывая требования [10], принимается в работе для ЗОЗ линии «выключатель РП-10 кВ – КТП 10/0,4 кВ объекта» следующие технические параметры: $I_{c.з} = 5 \text{ А}$, $t_{c.з} = 0 \text{ с}$ (без выдержки времени).

Все технические параметры и уставки РЗиА линии «выключатель РП-10 кВ – КТП 10/0,4 кВ объекта» удовлетворяют условиям выбора.

Выводы по разделу 3.

В разделе, исходя из необходимых параметров и характеристик, согласно заданию на проектирование, а также исходя из требований, предъявляемых к современным блокам РЗиА на микропроцессорной основе, в работе для установки на питающем РП-10 кВ для защиты системы

электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, выбираются современные блоки РЗиА типа SMPR 155R производства Orion Italia S.R.L.

На таких микропроцессорных блоках РЗиА реализуются все основные функции системы, они включают в себя несколько выходов, которые могут быть запрограммированы для различных функций и целей.

Кроме того, такие блоки значительно надёжны и компактны, а также не требуют таких значительных затрат на монтаж, ремонт, наладку и эксплуатацию, как старые реле.

Проведён расчёт основных токов и времени срабатывания релейных защит системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша.

Выбраны уставки основных и резервных защит схемы.

Полученные результаты затрат на КТП 10/0,4 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша в результате проведения реконструкции могут быть приняты к сведению при практической реализации проекта.

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект по реконструкции трансформаторной понижающей подстанции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша.

Проведён анализ исходных данных принципиальной схемы электрических соединений, оборудования и потребителей КТП 10/0,4 кВ системы электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3.

В результате проведённого детального анализа исходного технического состояния и потребителей объекта установлено, что требуется реконструкция схемы электрических соединений КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в связи с подключением в её схему новых потребителей.

Установлено, что в системе электроснабжения тепловой насосной станции ТНС-3 планируется ввести в эксплуатацию, в связи с реконструкцией системы насосного парка, следующие потребители:

- насос сетевой (320 кВт) – 2 единицы;
- насос охлаждения (15 кВт) – 2 единицы;
- задвижки (8,5 кВт) – 2 единицы;
- задвижки (6 кВт) – 2 единицы.

Предложено, исходя из новой нагрузки потребителей, полученной в результате реконструкции насосного парка объекта, пересчитать электрические нагрузки питающей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, и, далее, на основании полученных результатов, провести выбор силовых трансформаторов подстанции, а также проводников и аппаратов всей системы электроснабжения объекта. При этом предлагается равномерно разделить электрическую нагрузку объекта (с учётом новых потребителей) на две секции сборных шин РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ.

Такая схема обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что

положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей подстанции в целом с учётом реконструкции схемы электрических соединений путём подключения дополнительных потребителей;
- выбор силовых трансформаторов с учётом реконструкции схемы подстанции;
- выбор и проверка проводников на подстанции;
- определение токов короткого замыкания на подстанции;
- выбор и проверка электрических аппаратов;
- разработку и описание основных мероприятий по монтажу, эксплуатации и ремонту КТП 10/0,4 кВ.

Также в работе, на основе расчёта электрических нагрузок установлено, что в результате модернизации подстанции, необходимо установить два силовых трансформатора марки ТМГ-630/10, которые выдержат перегрузку в послеаварийном режиме работы.

Данный тип трансформатора выполняется без наличия расширительного бака и герметичен, таким образом он зарекомендовал себя значительно лучше, чем аналогичные трансформаторы марок ТМ и ТМЗ.

Он имеет две обмотки и выбран для применения в условиях умеренного климата.

Силовые трансформаторы марки ТМ-1000/10 кВ, которые были установлены на подстанции переменного напряжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, после реконструкции использовать в схеме технически нежелательно, так как его загрузка будет очень низкая и потери холостого хода, а также величина реактивной мощности в системе электроснабжения значительно возрастут.

Как правило, такая замена типономинала трансформатора на другой, меньшей мощности, с учётом приведённых выше факторов, окупается в среднем за 3-4 года за счёт значительного уменьшения потерь электроэнергии и перетоков реактивной мощности [12].

Установка данных силовых трансформаторов меньшего типономинала марки ТМГ-630/10, по сравнению с ранее установленными трансформаторами марки ТМ-1000/10, позволит добиться значительной экономии денежных ресурсов за счёт уменьшения нагрузочных потерь электроэнергии, значения реактивной составляющей и уменьшения расходов на эксплуатацию, монтаж и ремонт оборудования КТП 10/0,4 кВ, в том числе и самих силовых трансформаторов.

Выбраны и проверены сечения кабельных линий электропередачи на КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, включая питающую линию 10 кВ и отходящие линии 0,4 кВ питающей и распределительной сети объекта.

Исходя из полученных результатов, для питающей кабельной линии 10 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 окончательно выбран силовой кабель марки АСБ-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее.

Для питания потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки АВБбШвнг при питании от шин РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ по радиальной схеме без ответвлений.

Данная марка кабелей характеризуется хорошими показателями надёжности за счёт сочетания высококачественной термостойкой изоляции и брони, а также использования сектороподобных токопроводящих жил, улучшающих токопроводимость кабеля.

В связи с вводом новых потребителей и заменой силовых трансформаторов на КТП 10/0,4 кВ, выбраны и проверены новые современные коммутационные аппараты и аппараты управления напряжением 10 кВ и 0,4 кВ.

Все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты, выбранные для установки в РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3, проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Приведены основные мероприятия по монтажу, эксплуатации и ремонту оборудования и сетей КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3.

Исходя из необходимых параметров и характеристик, согласно заданию на проектирование, а также исходя из требований, предъявляемых к современным блокам РЗиА на микропроцессорной основе, в работе для установки на питающем РП-10 кВ для защиты системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша, выбираются современные блоки РЗиА типа SMPR 155R производства Orion Italia S.R.L.

На таких микропроцессорных блоках РЗиА реализуются все основные функции системы, они включают в себя несколько выходов, которые могут быть запрограммированы для различных функций и целей.

Кроме того, такие блоки значительно надёжны и компактны, а также не требуют таких значительных затрат на монтаж, ремонт, наладку и эксплуатацию, как старые реле.

Проведён расчёт основных токов и времени срабатывания релейных защит системы электроснабжения КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша. Выбраны уставки основных и резервных защит схемы.

Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции КТП 10/0,4 кВ тепловой насосной станции ТНС-3 г. Костомукша позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

Полученные результаты затрат на КТП 10/0,4 коммунального предприятия теплосетей г. Костомукша в результате проведения реконструкции, могут быть приняты к сведению при практической реализации проекта.

Список используемых источников

1. Автоматические выключатели трехфазные. [Электронный ресурс]: URL: https://elektrikadeshevo.ru/catalog/avtomaticheskie_vyklyuchateli/trekhfaznye/ (дата обращения: 22.09.2022).
2. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интернет Инжиниринг, 2017. 672 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Кабель АВБбШвнг(А) 5 жильный. [Электронный ресурс]: URL: https://cable.ru/cable/kabel-5-zhil_v_group-avbbshvng.php#tab_elements (дата обращения: 22.09.2022).
5. Кабель АСБ-10 кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.rkz.ru/cables/1079/> (дата обращения: 22.09.2022).
6. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
7. Микропроцессорный блок РЗА SMPR 155. [Электронный ресурс]: URL: https://rospolus.ru/6_35kv/rza/rza_0003.html (дата обращения: 22.09.2022).
8. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2016. 608 с.
9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
10. Правила техники безопасности при эксплуатации

электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 315 с.

12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.

13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 с.

14. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 464 с.

15. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

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

17. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств и указания по их применению. [Электронный ресурс]: URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293830/4293830107.htm> (дата обращения: 22.09.2022).

18. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.

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