

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 Модернизация питающей подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал

Обучающийся

Е.С. Храпач

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2023

Аннотация

В результате проведенных исследований в работе, проведена модернизация основного оборудования распределительного устройства 10 кВ подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, которая осуществляется путём замены ячеек закрытого распределительного устройства (далее – ЗРУ) на новые ячейки комплектных распределительных устройств (далее – КРУ) внутренней установки, с учётом замены некоторых устаревших электрических аппаратов, морально и технически устаревших, на современные марки и модели, обладающие высокими критериями надёжности, экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), электробезопасности и прочими аналогичными показателями.

На основе проведённого анализа схемы электрических соединений и характеристик подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, осуществлено внедрение выбранных и обоснованных предложений по требуемой модернизации ячеек РУ-10 кВ подстанции и их устаревшего оборудования.

Проверены проводники на подстанции, выбраны новые устройства релейной защиты и автоматики на объекте.

Выбрана новая система учёта и контроля электроэнергии на подстанции.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по модернизации ячеек РУ-10 кВ и их электрооборудования в схеме электрических соединений подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных	7
1.1 Краткая характеристика предприятия	7
1.2 Исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции 10/0,4 кВ	9
1.3 Обоснование мероприятий по модернизации подстанции	13
2 Модернизация электрической части подстанции	19
2.1 Расчёт электрических нагрузок подстанции методом коэффициента спроса	19
2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции	24
2.3 Выбор типа и компоновки трансформаторной подстанции	27
2.4 Выбор и проверка проводников	27
2.5 Расчёт токов короткого замыкания	35
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов для модернизации подстанции.....	42
3 Релейная защита и автоматика подстанции	52
3.1 Выбор микропроцессорных блоков релейной защиты	52
3.2 Выбор уставок релейной защиты и автоматики блоков РЗА.....	56
4 Система учёта и контроля электроэнергии на подстанции.....	58
Заключение	61
Список используемых источников.....	65

Введение

Известно, что реконструкция и техническое перевооружение изношенного и морально устаревшего оборудования систем электроснабжения объектов промышленной и гражданской инфраструктуры рассматриваются как приоритетные направления инвестиционной политики в современных системах электроснабжения [5].

Основными составляющими современных трансформаторных подстанций является совокупность силовых трансформаторов и распределительных устройств.

Именно благодаря их слаженной работе обеспечиваются условия надёжности, электробезопасности, быстродействия и селективности (избирательности).

Известно, что такими показателями обладают современные разработки электрических аппаратов, активно внедряющихся в последнее время для применения в распределительных устройствах трансформаторных подстанций энергосистемы всех типов и классов напряжения.

Известно, что внедрение мероприятий по модернизации оборудования в схемах главных электрических соединений нормального режима на понизительных подстанциях, является главным ключом к надёжной и гибкой энергетике любой страны.

Известно, что электрификация промышленных предприятий и учреждений гражданской инфраструктуры является необходимым условием для обеспечения их функционирования.

Использование электроэнергии улучшает многие аспекты жизнедеятельности, особенно, незащищённых и уязвимых слоёв населения, блага, удобства и материальное обеспечение которых обеспечивается государственными программами.

Кроме того, электрическая энергия непосредственно используется в промышленности для изготовления всех видов продукции.

Таким образом, установлено, что применение современных электрических аппаратов в распределительных устройствах трансформаторных подстанций энергосистемы всех типов создаёт необходимые условия для обеспечения нормальной и надёжной работоспособности не только самой подстанции, но и всей электрической сети и, как результат, – всей энергосистемы в целом.

Поэтому модернизация оборудования современных трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы всех типов, является актуальным заданием современной электроэнергетики. Указанные аспекты формируют актуальность темы.

Основной целью данной работы является модернизация понизительной подстанции переменного тока подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, которая осуществляется путём практической замены ячеек распределительного устройства РУ-10 кВ объекта и некоторого их основного оборудования, с учётом параллельной замены питающей кабельной линии напряжением 10 кВ.

Перечисленное оборудование не отвечает современным критериям надёжности, электробезопасности и экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), а также прочим аналогичным критериям, поэтому оно должно быть заменено на современное инновационное оборудование соответствующего типа.

Объектом исследования в работе является потребительская распределительная понизительной подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, находящаяся на балансе данной организации.

Предметом исследования являются схема электрических соединений нормального режима на объекте исследования, а также ячейки и их основное оборудование распределительного устройства напряжением 10 кВ рассматриваемой в работе понизительной питающей подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

В результате проведенных исследований в работе, проведена модернизация, внедрённая с учётом замены основного оборудования и типа ячеек закрытого распределительного устройства (далее – ЗРУ) распределительного устройства 10 кВ подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, на новые ячейки комплектных распределительных устройства (далее – КРУ) внутренней установки, с учётом замены некоторых устаревших электрических аппаратов, морально и технически устаревших, на современные марки и модели, обладающие высокими критериями надёжности, экономичности, экологичности, быстродействия, селективности (избирательности), электробезопасности и прочими аналогичными показателями. Всё основное электрическое оборудование ячеек РУ-10 кВ обязано соответствовать этим критериям.

В работе также должны быть проверены силовые трансформаторы, установленные на подстанции, подтверждено сечение и марки всех проводников на подстанции, выбраны новые устройства релейной защиты и автоматики на объекте. Выбрана новая система учёта и контроля электроэнергии на понизительной подстанции.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по модернизации ячеек РУ-10 кВ и их электрооборудования, а также модернизации питающей кабельной линии 10 кВ, в схеме электрических соединений подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, которая проводится без изменения и реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима на данном объекте проектирования [7].

Анализ исходных данных

Краткая характеристика предприятия

Для решения поставленных задач в работе, на первом этапе, необходимо провести аналитический обзор исходной характеристики схемы электрических соединений и оборудования понизительной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

«Рассматриваемая в работе понизительная подстанция переменного тока ТП-10/0,4 кВ, выступающая в роли объекта проектирования в работе, является одной» [1] из многочисленных питающей подстанций АО «Апатит» Кировский филиал, обеспечивая электроснабжение для исключительно данной организации.

Необходимо учесть специфику предприятия, на котором установлена рассматриваемая в работе понизительная подстанция 10/0,4 кВ, с учётом краткого анализа деятельности и технологического процесса. Поэтому в работе приводится краткая характеристика АО «Апатит» Кировский филиал.

АО «Апатит» Кировский филиал территориально находится в городе Кировск Мурманской области, на улице Ленинградской, 1. По своей деятельности и структуре, АО «Апатит» Кировский филиал – уникальное предприятие, основной деятельностью которого является добыча и переработка редкоземельного фосфоросодержащего сырья, крайне необходимого для получения фосфорных удобрений, а также удобрений на фосфоросодержащей основе.

Далее в работе приводится характеристика деятельности АО «Апатит» Кировский филиал, которая взята из открытых источников (официальный сайт компании) [2].

«Это одно из самых крупных и богатых месторождений мира, основная база уникального по своей экологичности и безопасности фосфоросодержащего сырья в России» [2].

«За все годы предприятием добыто и переработано более 2,1 миллиардов тонн руды, выпущено более 725 миллионов апатитового и 75 миллионов тонн нефелинового концентратов» [2]. «Филиал «Апатита» в Хибинах – флагман горнодобывающей промышленности России, базовое предприятие ФосАгро, обеспечивающее производственные комплексы компании в других регионах экологичным апатитовым концентратом для выпуска удобрений, востребованных на отечественном рынке и еще в более чем ста странах мира» [2]. «Сегодня Кировский филиал АО «Апатит» - крупнейшее в мире предприятие по производству высокосортного (с содержанием P_2O_5 не менее 37,5%) фосфатного сырья и единственный в России производитель нефелинового концентрата» [2]. «Предприятие разрабатывает шесть Хибинских месторождений: Кукисвумчоррское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Коашвинское и Ньоркпахкское» [2]. «В 2021 году на обогатительных фабриках было произведено более 10,6 млн тонн апатитового концентрата и 1,1 млн тонн нефелинового концентрата.» [2].

Таким образом, в результате проведения анализа исходных данных по предприятию Кировский филиал АО «Апатит», к которому относится рассматриваемая понизительная подстанция 10/0,4 кВ данной организации, установлено следующее:

- предприятие АО «Апатит» Кировский филиал – энергоёмкое и мощное предприятие добывающей и перерабатывающей промышленности, которое является уникальным и относится к предприятиям со значительной потребляемой мощностью;
- «рассматриваемая в работе понизительная подстанция переменного тока ТП-10/0,4 кВ, выступающая в роли объекта проектирования в работе, является одной [3] из многочисленных питающей подстанций АО «Апатит» Кировский филиал, обеспечивая электроснабжение для исключительно данной организации.

С учётом приведённой характеристики предприятия, далее проводится решение основных задач.

1.2 Исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции 10/0,4 кВ

Питающая «подстанция ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, является двухтрансформаторной комплектной подстанцией тупикового типа наружной установки с кабельными вводами, а также с резервированием на сторонах 10 кВ (ВН) и 0,4 кВ (НН)» [2].

Питание данной подстанции 10/0,4 кВ осуществляется кабельной линией электропередачи с применением силовых кабелей марки АСБ-10 (3×25), по радиальной схеме, к которой подключена понизительная подстанция 10/0,4 кВ» [5] АО «Апатит» Кировский филиал. Данная кабельная линия 10 кВ была введена в эксплуатацию в 1978 году. По состоянию на начало 2023 года, на ней неоднократно проводились ремонты вследствие аварий и результатов действия токов коротких замыканий.

В данной схеме вопрос резервирования для питания 1 и 2 категории потребителей был решён недостаточно, в связи с чем в 2020 году была проведена реконструкция схемы электрических соединений нормального режима в РУ-10 кВ объекта.

Распределительное устройство 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, представляет собой закрытое распределительное устройство, выполненное в виде двухэтажного здания. Оно было введено в эксплуатацию в 1978 году. Из основного оборудования, в РУ-10 кВ установлены устаревшие и технически изношенные ячейки одностороннего обслуживания типа КСО-366. В этих ячейках находятся выключатели высокого напряжения марки ВМГ-133, а также разъединители РВ-10, которые были установлены в ячейках вместе с их вводом в эксплуатацию (1978 год). Эти аппараты устарели, также устарели и изношены ячейки РУ-10 кВ, поэтому в работе предлагается их заменить на новое оборудование, которое необходимо обосновать и подтвердить на основе технических расчётов. Замена устаревшего оборудования и ячеек РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал

рассматривается в работе далее детально и является основной задачей и целью данной работы.

Следующим основным элементом на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, являются силовые трансформаторы, понижающие напряжение с 10 кВ до 0,4 кВ, на котором и питаются потребители объекта. В исходной схеме ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал установлены два силовых трансформатора марки ТМ-630/10. Эти трансформаторы были введены в работу на подстанции в 2012 году и по состоянию на начало 2023 года только дважды проходили капитальный ремонт. Данный тип трансформатора зарекомендовал себя как надёжный и экономичный тип трансформаторов. Таким образом, установлено, что силовые трансформаторы ТМ-630/10, установленные на объекте исследования, не требуют замены. В работе они проверяются на условия перегрузочной аварийной способности (с учётом модернизации оборудования данной подстанции).

«Распределительное устройство номинальным напряжением 0,4 кВ (далее – РУ-0,4 кВ) ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал конструктивно выполнено комплектным, наружной установки, с применением ячеек стационарного типа (выбираются в зависимости от применяемого оборудования). В схеме РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, предусмотрена одна рабочая, секционированная выключателем с АВР, система сборных шин с резервированием» [6]. Такая схема достаточно надёжна для питания потребителей предприятия, поэтому в реконструкции не нуждается. «Защита и коммутация схемы РУ-0,4 кВ подстанции ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал обеспечивается автоматическими воздушными выключателями (автоматами), установленными в шкафах РУ-0,4 кВ» [8] указанной понизительной питающей подстанции класса напряжения 10/0,4 кВ. Все автоматы в схеме – марки ВА, новые, надёжные, были установлены в результате практической модернизации

сети напряжением 0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал в 2012 году.

Поэтому они не требуют замены.

«Такая схема с наличием автоматического резервирования на стороне 0,4 кВ подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, полностью соответствует условиям для питания I и II категорий потребителей согласно нормам и требованиям [10]. Схема электрических соединений ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, представлена в данной работе» [10] на графическом листе 1.

Далее от ТП-10/0,4 кВ по радиальной схеме двумя кабельными линиями, получает питание вводное распределительное устройство (ВРУ) системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал.

В работе ВРУ необходимо рассмотреть по той причине, что его схема влияет на результаты расчёта электрических нагрузок всей системы электроснабжения объекта, следовательно, и на питающую подстанцию ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит», которая требует модернизации оборудования и ячеек РУ-10 кВ.

От ВРУ, в свою очередь, по смешанной схеме кабельными линиями электропередачи, питаются щиты: распределительные и осветительные (соответственно, далее – ЩР и ЩО).

От данных щитов получают питание конечные электроприёмники объекта (по смешанной схеме электроснабжения).

При этом электрическая силовая нагрузка объекта на секции сборных шин РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, распределена на секциях шин относительно равномерно.

Также разделено питание рабочего и аварийного освещения объекта, их щитки питаются от разных трансформаторов ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, что значительно повышает уровень надёжности, а также создаёт условия необходимого «горячего резервирования».

Таким образом, установлено, что описанная в работе исходная схема электроснабжения РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал – надёжная и экономичная, поэтому может быть рекомендована к применению на объекте без внесения изменений [15]. В работе «технические данные нагрузки потребителей подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, представлены в таблице 1» [8].

Таблица 1 – Технические данные нагрузки потребителей ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал

Номер ЩР (ЩО)	Характеристика ЩР (ЩО)	$P_{ном}, кВт$
I секция шин		
ЩР1	Силовой распределительный щит	8,50
ЩР2	Силовой распределительный щит	8,20
ЩР3	Силовой распределительный щит	46,86
ЩР4	Силовой распределительный щит	9,10
ЩР5	Силовой распределительный щит	109,60
ЩР6	Силовой распределительный щит	10,50
ЩР7	Силовой распределительный щит	0,35
ЩР8	Силовой распределительный щит	7,00
ЩР9	Силовой распределительный щит	220,50
ЩР10	Силовой распределительный щит	0,14
ЩР11	Силовой распределительный щит	10,85
ЩР12	Силовой распределительный щит	32,00
ЩО1	Внутреннее рабочее освещение	43,34
ЩО2	Наружное рабочее освещение	3,60
Всего электроосвещения секции I		46,94
Всего силовое оборудование секции I		463,60
Итого нагрузки по секции I		510,54
II секция шин		
ЩР13	Силовой распределительный щит	195,71
ЩР14	Силовой распределительный щит	251,70
ЩР15	Силовой распределительный щит	54,00
ЩР16	Силовой распределительный щит	300,00
ЩО3	Аварийное освещение	4,7
ЩО4	Наружное аварийное освещение	0,5
Всего электроосвещения секции II		5,2
Всего силовое оборудование секции II		801,41
Итого нагрузки по секции II		806,61
Итого нагрузки по секциям I и II (нагрузка ТП-10/0,4 кВ)		1317,15

Исходные номинальные нагрузки силовой и осветительной сети, указанные в таблице 1, являются основанием для расчёта нагрузок подстанции и выбора оборудования.

Обоснование мероприятий по модернизации подстанции

На основе кратких основных нормативных положений, с учётом проведённого ранее анализа, проводится обоснование разработанных предложений по реконструкции объекта исследования.

Известно, что к современным трансформаторным понизительным подстанциям предъявляются жёсткие требования по следующим техническим критериям, а именно:

- условия надёжности питания потребителей соответствующих категорий согласно [7];
- принцип бесперебойности передачи электроэнергии потребителям соответствующих категорий надёжности согласно принятых схем нормальных режимов;
- 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 (оборудование не находится в работе в нормальной схеме подстанции);
- применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах подстанции (как правило, применяется секционирование систем сборных шин распределительных устройств);
- 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);
- обеспечение динамической устойчивости системы (проверяется соответствующими расчётами и моделированием всей системы, в которую входит подстанция);
 - обеспечение транзита и резерва мощностей для питания других объектов (применяется для узловых и транзитных подстанций);
 - соблюдение баланса мощностей во всех режимах, включая баланс по реактивной мощности, применение компенсирующих устройств реактивной мощности (при необходимости);
 - обеспечение защиты всех важнейших узлов и ветвей цепи подстанции, а также важнейшего оборудования (например, трансформаторов), для чего применяются аппараты защиты с установленными на их приводах устройствами релейной защиты;
 - использование термически устойчивого оборудования, способного выдерживать длительные сквозные токи короткого замыкания;
 - 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, систем управления электроснабжением подстанций;
 - ремонтнопригодность всего оборудования схемы нормальных соединений подстанции;
 - «живучесть» основных узлов, систем и оборудования трансформаторных подстанций;
 - возможность дальнейшего расширения, модернизации и реконструкции схемы главных соединений распределительных устройств подстанций;

- применение блочных конструкций;
- использование современного оборудования распределительных устройств подстанций (приоритет отдаётся устройствам с элегазовой и вакуумной изоляцией);
- минимальные стоимости эксплуатации и ремонта при максимальном технико-экономическом эффекте.

Таким образом, в результате проведения анализа исходных технических данных схемы нормальных соединений и состояния основного оборудования на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, было установлено следующее:

- из основного оборудования, в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал установлены устаревшие и технически изношенные ячейки одностороннего обслуживания типа КСО-366. В этих ячейках находятся выключатели высокого напряжения марки ВМГ-133, а также разъединители РВ-6, которые были установлены в ячейках вместе с их вводом в эксплуатацию (1978 год). Данные аппараты устарели, также устарели и износились ячейки РУ-10 кВ, поэтому в работе предлагается их заменить на новое оборудование путём проведения модернизации, мероприятия по которой необходимо обосновать и подтвердить на основе технических расчётов;
- установлено, что питание данной подстанции 10/0,4 «кВ осуществляется кабельной линией электропередачи с применением силовых кабелей марки АСБ-10 (3×25), по радиальной схеме, к которой подключена понизительная подстанция 10/0,4 кВ» [7] АО «Апатит» Кировский филиал. Данная кабельная линия 10 кВ была введена в эксплуатацию в 1978 году. По состоянию на начало 2023 года, на ней неоднократно проводились ремонты вследствие аварий и результатов действия токов коротких замыканий. Таким образом, для данной КЛ-10 кВ требуется выбрать новые силовые кабели,

отвечающие всем требованиям и критериям по надёжности, бесперебойности питания и его экономичности;

- предложенную модернизацию ячеек РУ-10 кВ и питающей кабельной линии 10 кВ на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, осуществляемую с заменой устаревшего основного оборудования, планируется внедрить без реконструкции схемы электрических соединений подстанции. Таким образом, в работе предложено заменить неэффективные, ненадёжные и старые ячейки типа КСО-366 с оборудованием 10 кВ, на современные ячейки типа КРУ внутренней установки (ячейки марки D-12P).

Внедрение принятых схемных решений и рекомендаций по модернизации оборудования и ячеек РУ-10 кВ, а также питающей кабельной линии 10 кВ, системы электроснабжения объекта, приведёт к улучшению технико-экономических параметров системы в целом.

Далее в работе необходимо расчётным путём подтвердить предложенные технические решения, для чего необходимо провести выбор и проверку её основных элементов (силовых трансформаторов, проводников и электрических аппаратов). Кроме того, в работе, для подтверждения работоспособности модернизированной схемы электрических соединений, а также комплексного обоснования принятых решений по модернизации основного оборудования ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, также предлагается:

- проверить целесообразность установки на подстанции силовых трансформаторов принятых марок, с учётом их нагрузочной способности в нормальном режиме работы, и допустимой перегрузки в послеаварийном режиме работы с учётом резервирования схемы;
- проверочным путём обосновать целесообразность применения на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал проводников питающей и распределительной сетей, а также электрических аппаратов, напряжением 0,38/0,22 кВ.

Таким образом, далее в работе необходимо решить комплексную задачу по внедрению предложенных мероприятий по модернизации оборудования и ячеек РУ-10 кВ, а также питающей КЛ-10 кВ, на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал с учётом приведённых дополнительных аспектов.

Выводы по разделу.

В работе приведена характеристика АО «Апатит» Кировский филиал.

Проведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, с анализом технических данных нагрузки потребителей. В результате проведения анализа исходных технических данных схемы нормальных соединений и состояния основного оборудования на объекте, было установлено следующее:

- из основного оборудования, в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал установлены устаревшие и технически изношенные ячейки одностороннего обслуживания типа КСО-366. В этих ячейках находятся выключатели высокого напряжения марки ВМГ-133, а также разъединители РВ-6, которые были установлены в ячейках вместе с их вводом в эксплуатацию (1978 год). Данные аппараты устарели, также устарели и износились ячейки РУ-10 кВ, поэтому в работе предлагается их заменить на новое оборудование путём проведения модернизации, мероприятия по которой необходимо обосновать и подтвердить на основе расчётов;
- установлено, что питание данной подстанции 10/0,4 «кВ осуществляется кабельной линией электропередачи с применением силовых кабелей марки АСБ-10 (3×25), по радиальной схеме, к которой подключена понизительная подстанция 10/0,4 кВ» [8] АО «Апатит» Кировский филиал. Данная кабельная линия 10 кВ была введена в эксплуатацию в 1978 году. По состоянию на начало 2023 года, на ней неоднократно проводились ремонты вследствие аварий и результатов действия токов коротких замыканий. Таким образом, для данной КЛ-10 кВ требуется выбрать новые силовые кабели,

отвечающие всем требованиям и критериям по надёжности, бесперебойности питания и его экономичности;

- предложенную модернизацию ячеек РУ-10 кВ и питающей кабельной линии 10 кВ на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, осуществляемую с заменой устаревшего основного оборудования, планируется внедрить без реконструкции схемы электрических соединений подстанции. Таким образом, в работе предложено заменить неэффективные, ненадёжные и старые ячейки типа КСО-366 с оборудованием 10 кВ, на современные ячейки типа КРУ внутренней установки (ячейки марки D-12P).

Кроме того, в работе, для подтверждения работоспособности модернизированной схемы электрических соединений, а также комплексного обоснования принятых решений по модернизации основного оборудования ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, также предлагается:

- проверить целесообразность установки на подстанции силовых трансформаторов принятых марок, с учётом их нагрузочной способности в нормальном режиме работы, и допустимой перегрузки в послеаварийном режиме работы с учётом резервирования схемы;
- проверочным путём обосновать целесообразность применения на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал проводников питающей и распределительной сетей, а также электрических аппаратов, напряжением 0,38/0,22 кВ.

Решение поставленных основных задач, с внедрением предложений и рекомендаций по модернизации основного оборудования данного объекта, осуществляется в работе далее.

Модернизация электрической части подстанции

Расчёт электрических нагрузок подстанции методом коэффициента спроса

Известно, что расчётные электрические нагрузки объектов энергетики являются основой для проектирования, модернизации и реконструкции систем электроснабжения [12].

Поэтому далее в работе, для достижения поставленной цели, следует провести расчёт 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 электрической части ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

В работе расчёту подлежат значения активной, реактивной и полной расчётных нагрузок одиночных присоединений потребителей подстанции, систем сборных шин, а также всей подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Как известно, расчётный ток нагрузки нормального режима также относится к электрическим нагрузкам, поэтому в работе он также подлежит определению [3].

Определяются расчётные нагрузки распределительных щитов силовой и осветительной сети (РЩ и РО), исходя из принятой проектной схемы распределения их нагрузки согласно технологическому процессу.

При этом в качестве нагрузки ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал принимаются фактические максимальные значения потребляемой активной мощности распределительных щитов (силовых и осветительных), получающих питание от ВРУ-0,4 кВ данной организации.

В работе указанные расчетные нагрузки определяется методом коэффициента спроса [7].

Расчёты проводятся по принятой методике с использованием табличных коэффициентов спроса потребителей [12].

Активная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей электрической части ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал [11]:

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

где P_m – максимальная активная нагрузка присоединений потребителей электрической части ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, кВт (по данным энергосистемы);

K_c – коэффициент спроса потребителей электрической части ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, о.е. Принимается по табличным справочным данным [6].

Реактивная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей распределительных щитов силовой и осветительной сети электрической части ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал [11]:

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

где « $tg \varphi$ – нормируемый коэффициент реактивной мощности, соответствующий текущему значению коэффициента активной мощности системы ($cos \varphi$). С учётом компенсации реактивной мощности» [9] до нормируемого значения $cos \varphi = 0,93$ на шинах энергосистемы, в работе принимается соответствующее ему значение $tg \varphi = 0,4$ [8].

Полная расчётная нагрузка одиночных присоединений потребителей распределительных щитов силовой и осветительной сети электрической части ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал [11]:

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

Расчётный ток нормального режима одиночных присоединений потребителей распределительных щитов силовой и осветительной сети электрической части ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал [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 ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Проводится расчёт нагрузки одиночных присоединений подстанции на примере первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

По условию (1) расчётная активная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал:

$$P_p = 8,5 \cdot 0,65 = 5,53 \text{ кВт}.$$

По условию (2) расчётная реактивная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал:

$$Q_p = 5,53 \cdot 0,33 = 1,82 \text{ квар}.$$

По условию (3) расчётная полная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал:

$$S_p = \sqrt{5,53^2 + 1,82^2} = 5,82 \text{ кВА.}$$

По условию (4) расчётное значение тока нагрузки нормального режима первого присоединения одиночных потребителей «ЩР №1» ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал:

$$I_p = \frac{5,82}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 8,84 \text{ А.}$$

«Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей понизительной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал с приведением результатов расчёта в форме таблицы 2» [9].

Также в таблице 2 расчёт суммарной нагрузки секций сборных шин и всей питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал проводится с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузки согласно [14].

В связи с этим, проверено также условие равномерности распределения нагрузки, с учётом различия мощностей на взаиморезервируемых секциях сборных шин (отличие не более 20%) [13].

Данное условие выполняется.

В связи с методикой расчёта, вычисления проводятся отдельно для силовых и осветительных потребителей модернизируемой питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал [6].

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок ТП-10/0,4 кВ

ЩР (ЩО)	Характеристика потребителей ЩР (ЩО)	$P_{ном}$, кВт	k_c	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
I секция шин							
ЩР1	Силовой распределительный щит	8,50	0,65	5,53	1,82	5,82	8,84
ЩР2	Силовой распределительный щит	8,20	0,20	1,64	0,54	1,73	2,66
ЩР3	Силовой распределительный щит	46,86	0,73	33,97	11,21	35,77	55,03
ЩР4	Силовой распределительный щит	9,10	0,45	4,10	1,35	4,32	6,64
ЩР5	Силовой распределительный щит	109,60	0,55	60,28	19,89	63,48	97,66
ЩР6	Силовой распределительный щит	10,50	0,73	7,61	2,51	8,01	12,33
ЩР7	Силовой распределительный щит	0,35	1,00	0,35	0,11	0,37	0,57
ЩР8	Силовой распределительный щит	7,00	0,60	4,20	1,39	4,42	6,80
ЩР9	Силовой распределительный щит	220,50	0,70	154,35	50,94	162,54	250,1
ЩР10	Силовой распределительный щит	0,14	1,00	0,14	0,05	0,15	0,23
ЩР11	Силовой распределительный щит	10,85	0,50	5,43	1,79	5,72	8,80
ЩР12	Силовой распределительный щит	32,00	1,00	32,00	10,56	33,70	51,84
ЩО1	Внутреннее рабочее освещение	43,34	0,52	22,54	7,44	23,74	36,52
ЩО2	Наружное рабочее освещение	3,60	1,00	3,60	1,19	3,79	5,83
Всего электроосвещение		46,94	-	26,14	8,63	27,53	42,35
Всего силовое оборудование		463,60	-	309,59	102,16	326,03	501,46
Итого секция I		510,54	-	335,73	110,79	353,56	543,81
II секция шин							
ЩР13	Силовой распределительный щит	195,71	0,50	97,86	32,29	103,05	158,5
ЩР14	Силовой распределительный щит	251,70	0,45	113,27	37,34	119,28	183,5
ЩР15	Силовой распределительный щит	54,00	0,90	48,60	16,04	51,18	78,74
ЩР16	Силовой распределительный щит	300,00	0,50	150,00	49,50	157,96	243,0
ЩО3	Аварийное освещение	4,7	1,00	4,7	1,55	4,95	7,61
ЩО4	Наружное аварийное осв-е	0,5	1,00	0,5	0,17	0,53	0,81
Всего электроосвещение		5,2	-	5,2	1,72	5,48	8,42
Всего силовое оборудование		801,41	-	409,73	135,2	431,47	663,8
Итого секция II		806,61	-	414,93	136,9	436,95	672,2
Итого по секциям I и II ВРУ		1317,15	-	750,66	247,7	790,51	1216,0

2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции

«Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал были установлены два силовых трансформатора ТМ-630/10» [10].

Оба силовые трансформатора на понизительной подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал находятся в рабочем исправном состоянии и периодически проходили регламентные текущие и капитальные ремонты.

Они были заменены в результате реконструкции, проведённой в ячейках трансформаторов подстанции в 2012 году.

Проводится предварительная проверка правильности выбора силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, исходя из значения максимальной нагрузки подстанции.

«Номинальная мощность силового трансформатора» [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}} + P_{\text{см.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \text{ кВА}, \quad (5)$$

Г

д трансформатора подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ
е АО «Апатит» Кировский филиал» [13];

ном.т. – «номинальная (на паспортной) мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал» [13];

$P_{\text{р.}}$ – «суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал» [13];

$P_{\text{см.}}$ – «суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал» [13].

«По условию выбора (5), с учётом отсутствия в схеме подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал сторонних потребителей» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{750,66}{2 \cdot 0,8} = 469,16 \text{ кВА.}$$

«Исходя из результатов расчёта, для установки на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, предлагается в работе выбрать два силовых трансформатора марки ТМ-630/10» [14].

Данный тип трансформатора при применении в электроустановках зарекомендовал себя как надёжный, экономичный и ремонтнопригодный.

«Проверка выбранного типа силового трансформатора в нормальном режиме работы» [18]:

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,8. \quad (6)$$

Проверка выполняется:

$$K_3^H = \frac{790,51}{630 \cdot 2} = 0,63 \leq 0,8.$$

Каждый трансформатор при этом питается от отдельной линии, подключенной к независимому источнику питания.

Следовательно, два силовых трансформатора, установленные на подстанции, должны получать питание от различных независимых источников с учётом резервирования в схеме.

В случае выхода из строя одного из трансформаторов на подстанции, второй силовой трансформатор, в соответствии с допустимой согласно [1]

аварийной перегрузкой, обеспечивает питание всех потребителей, подключенных к питающей ТП-10/0,4 кВ.

Перевод нагрузки с отказавшего или выведенного в ремонт трансформатора на трансформатор, оставшийся в работе, должен осуществляться автоматически под действием автоматического включения резерва [1].

Таким образом, в схеме электроснабжения не будет «холодного резерва», который не рекомендуем [5].

Исходя из этого, «проверка выбранного типа силового трансформатора в максимальном режиме» [12]:

$$K_3^{n.av} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (7)$$

Проверка также выполняется:

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

«Все условия проверок для силовых трансформаторов марки ТМ-630/10 выполнены» [15].

«Установка данных трансформаторов меньшего типонаминала марки ТМ-630/10, по сравнению с трансформаторами большего типонаминала (например, марки ТМ-1000/10 и выше), позволит добиться значительной экономии денежных ресурсов за счёт уменьшения нагрузочных потерь электроэнергии, значения реактивной составляющей и уменьшения расходов на эксплуатацию» [12]. Конструкция выбранного типа трансформатора, выбранного и проверенного для установки на питающей подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, представлена в графической части работы.

2.3 Выбор типа и компоновки трансформаторной подстанции

В качестве питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал «применяется блочная комплектная трансформаторная подстанция наружной установки с двумя силовыми трансформаторами мощностью 630 кВА и распределительными устройствами (2БКТП)» [14].

«Основные характеристики 2БКТП с двумя силовыми трансформаторами ТМ-630/10 [14] приведены в таблице 3» [16].

Таблица 3 – Основные технические характеристики 2БКТП с двумя силовыми трансформаторами ТМ-630/10

Строительная часть	Габариты, мм (длина × ширина × высота)	Полная масса, т.
2БКТП	4210 × 4250 × 2210	25
Кабельный блок	4000 × 2500 × 1000	5

Далее в работе проводится описание компоновки и основных элементов выбранного типа подстанции [14].

«В БКТП каждый блок подстанции разделён на два отсека, при этом в одном отсеке расположен силовой трансформатор, а в другом – высоковольтное и низковольтное электрооборудование» [13].

Такой способ надёжен и рассчитан на двадцать лет работы без капитального ремонта поверхности.

Стандартная поставка БКТП включает следующую компоновку (применяется на объекте проектирования): два трансформатора, РУ ВН, РУ НН, дополнительные шкафы и блоки.

«Также данный тип трансформатора имеет переключатель, пробки для заливки и слива масла» [13].

«Конструктивное выполнение питающей подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал представлено в работе на графическом листе 3» [13].

Выбор и проверка проводников

Далее необходимо провести выбор и проверку проводников системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал.

В первую очередь необходимо выбрать сечение и марку кабельной линии 10 кВ для питания ТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-1, с учётом модернизации схемы электрических соединений РУ-10 кВ подстанции.

Проводится выбор кабельных линий не только для электроснабжения питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, но и для всей системы электроснабжения объекта.

Исходя из этого, в работе выбору подлежат следующие проводники системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, выполненные кабельными линиями электропередачи:

- напряжением 10 кВ: питающая кабельная линия, состоящая из двух силовых кабелей, для питания ТП-10/0,4 кВ от энергосистемы по радиальной схеме;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая сеть для обеспечения электроснабжения ВРУ объекта от РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ;
- напряжением 0,38/0,22 кВ: питающая сеть для обеспечения электроснабжения ЩР и ЩО объекта от ВРУ.

«Расчётный рабочий ток линии» [7]:

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

«Максимальный расчётный ток линии» [11]:

$$I_{p.маx} = 1,4 I_{p.маx} \quad (9)$$

«Проверка кабельной линии по условию нагрева максимальным рабочим током» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}} \quad (10)$$

где « $I_{\text{доп}}$ – длительно – допустимый ток, А» [1];

« $I_{p.\text{max}}$ – максимальный ток, А» [1].

«Выбор сечения по экономической плотности тока» [17]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}} \quad (11)$$

где « $I_{p.}$ – расчётный ток, А» [1];

« $j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока, А» [1].

Расчётный ток:

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

Расчётное сечение питающей кабельной линии 10 кВ, использующейся для питания ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал в результате проведения реконструкции схемы электрических соединений РУ-10 кВ объекта:

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

Исходя из результатов расчёта, для питания ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, полученное в результате проведения реконструкции

схемы электрических соединений РУ-10 кВ объекта, принимается сечение на питающей кабельной линии 10 кВ, равное 25 мм².

Предварительно принимается к установке силовой трёхжильный кабель с изоляцией со сшитого полиэтилена марки ПвПу2г-10 (3×25) с предельным допустимым током нагрева при прокладке в земле $I_{don}=115$ А [12].

Кабели данной марки ПвПу2г-10 характеризуется улучшенными параметрами изоляции, сниженными удельными сопротивлениями токоведущих жил, повышенной надёжностью, экономичностью передачи, удобствами монтажных и ремонтных работ.

Кроме того, предполагается значительная экономия денежных средств на эксплуатацию и ремонт кабельной линии, так как завод-изготовитель даёт расширенную гарантию на данную марку кабеля ПвПу2г до 25 лет, а также делает значительную скидку на монтажные работы и комплектующие монтажные материалы [4].

Конструкция выбранного в результате модернизации кабеля марки ПвПу2г-10 (3×25), выбранного для питания ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, представлена в работе на рисунке 1.

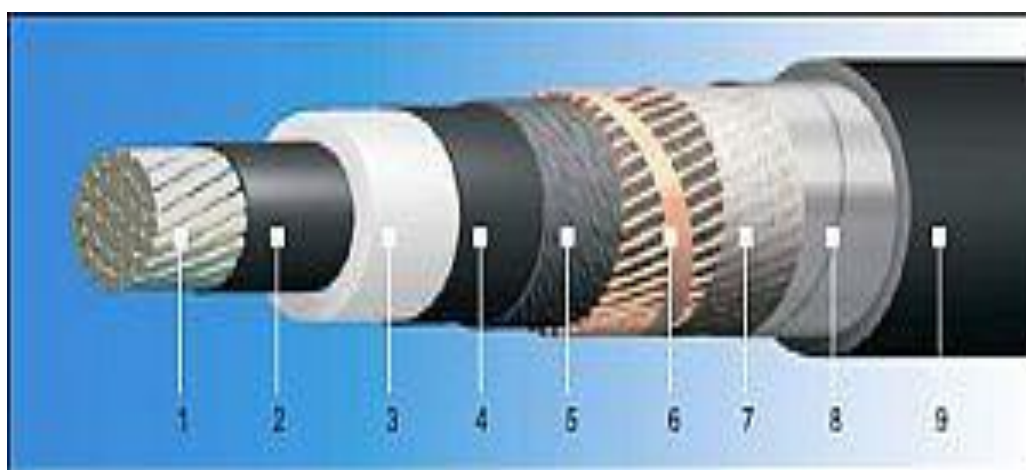


Рисунок 1 – Конструкция выбранного в результате модернизации кабеля марки ПвПу2г-10 (3×25), выбранного для питания ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал: 1 – токоведущая жила, 2 – экран, 3 – изоляция со сшитого полиэтилена, 4 – экран; 5 – разделяющий слой; 6 – медный экранирующий слой; 7 – водоотталкивающий слой; 8 – лента полигерметичная; 9 – оболочка основная внешняя

«Максимальный расчётный ток на питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал» [18]:

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

«Условия проверки питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал по условию допустимого нагрева в послеаварийном режиме, выполняется» [18]:

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

«Следовательно, исходя из полученных результатов, для питающей кабельной линии 10 кВ» [18] ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, полученной в результате проведения модернизации данной линии в схеме электрических соединений РУ-10 кВ, окончательно выбирается силовой кабель марки ПвПу2г-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее.

Установлено, что данный кабель обеспечит надёжное питание ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, с учётом резервирования, а также экономичность и бесперебойность электроснабжения.

Для электроснабжения питающей сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ АО «Апатит» Кировский филиал (ВРУ, ЩР и ЩО) в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки ВВГнг-LS при питании по радиальной схеме без ответвлений.

«Выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ для питания потребителей участка системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал осуществляется по условиям допустимого перегрева (приведены в работе ранее)» [20]. Результаты выбора и проверки сечения кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ потребителей участка системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора и проверки сечения кабелей питающей сети 0,38/0,22 кВ потребителей участка системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал

Потребитель	I_p, A	Марка кабеля	$I_{доп}, A$
Секция шин I ВРУ			
ЩР1	8,84	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР2	2,66	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР3	55,03	ВВГнг-LS (5×6)	64,0
ЩР4	6,64	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР5	97,66	ВВГнг-LS (5×16)	112,0
ЩР6	12,33	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР7	0,57	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР8	6,80	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР9	250,06	ВВГнг-LS (5×70)	253,0
ЩР10	0,23	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР11	8,80	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩР12	51,84	ВВГнг-LS (5×6)	64,0
ЩО1	36,52	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО2	5,83	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
КЛ к секции I ВРУ	543,81	ВВГнг-LS (5×300)	583,0
Секция шин II ВРУ			
ЩР13	158,54	ВВГнг-LS (5×35)	173,0
ЩР14	183,50	ВВГнг-LS (5×50)	205,0
ЩР15	78,74	ВВГнг-LS (5×10)	86,0
ЩР16	243,01	ВВГнг-LS (5×70)	253,0
ЩО3	7,61	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
ЩО4	0,81	ВВГнг-LS (5×2,5)	40,0
КЛ к секции II ВРУ	672,21	ВВГнг-LS (5×400)	679,0

Все выбранные проводники системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте.

Таким образом, в работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, выбраны сечения кабельной линии 10 кВ, полученной с учётом реконструкции схемы электрических соединений РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ.

Также подтверждены все сечения проводников питающей и распределительных линий 0,38 кВ, применяемых на участке системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, которую питает ТП-10/0,4 кВ.

Выбор сборных шин распределительного устройства 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал проводится по максимальному рабочему току по приведённому ранее.

В РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал в результате проведения реконструкции схемы, которая проводится параллельно с заменой устаревших ячеек и их оборудования, рекомендована к применению основная жёсткая ошиновка из сборные алюминиевых шин марки АДЗ1Т-5×25-3 АДЗ1Т, а также ответвительная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-6/2000 [8].

Такие виды и типы ошиновки типичны для применения в соответствующих распределительных устройствах комплектного типа современных понизительных подстанций [8].

В работе для установки в РУ-10 кВ принимается жёсткая ошиновка из сборные алюминиевых шин марки АДЗ1Т-5×25-3 АДЗ1Т.

Проводится проверка выбранной ошиновки по максимальному рабочему току:

$$1450 A \geq 51 A.$$

Условие проверки выполняется, следовательно, в качестве ошиновки для установки в РУ-10 кВ принимается жёсткая ошиновка из сборные алюминиевых шин марки АДЗ1Т-5×25-3 АДЗ1Т с допустимым током одной секции шин $I_{дон} = 1450 A$.

В качестве ответвительной жёсткой ошиновки (для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов, отходящих линий к сборным шинам РУ 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал), принимается современная жёсткая ошиновка ОЖ-СЭЩ-6/2000 с $I_{дон} = 2000 A$ [7].

Условие проверки этой ошиновки для установки в РУ 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал выполняется (с учётом того, что максимальный рабочий ток шин равен $I_m = 2000 A$):

$$2000 A \geq 51 A.$$

Таким образом, для второго трансформаторного ввода и питающей его кабельной линией 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, это условие также будет выполнено.

Исходя из поставленной задачи, в результате практической реализации предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, а также учитывая полную замену ячеек РУ-10 кВ с основным оборудованием, в работе выбраны и проверены сечения проводников:

- «для питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ объекта выбраны новые инновационные силовые кабели с перспективной изоляцией из сшитого полиэтилена марки ПвПу2г-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее» [20];
- «для электроснабжения питающей и распределительной сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ объекта, в работе приняты низковольтные пятижильные негорючие кабели марки ВВГнг-LS при питании по радиальной схеме без ответвлений» [19];
- в качестве ошиновки для установки в РУ-10 кВ принята жёсткая ошиновка из сборные алюминиевых шин марки АДЗ1Т-5×25-3 АДЗ1Т с допустимым током одной секции шин $I_{don} = 1450$ А;
- в качестве ответвительной жёсткой ошиновки (для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов, отходящих линий к сборным шинам РУ 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал), принята современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-6/2000 с $I_{don} = 2000$ А.

Все выбранные в работе кабельные линии показаны на однолинейной принципиальной схеме электрических соединений ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал. Также показаны узлы монтажа новых питающих КЛ-10 кВ для электроснабжения объекта проектирования.

Расчёт токов короткого замыкания

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах подстанции.

Так как на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал в результате внедрения мероприятий по проектированию схемы и выбора её элементов «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 (с допустимой погрешностью)» [16].

Значения токов КЗ в системе ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал будут использованы при выборе и проверке нового оборудования распределительного устройства РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ в работе далее.

Кроме того, результаты выбора уставок релейной защиты и автоматики для их установки в реконструированной схеме соединений нормального режима в системе ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, должны быть проверены на условия чувствительности.

Для этой цели в работе также необходимо провести расчёт минимального двухфазного тока КЗ.

«Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал представлена на рисунке 2» [17].

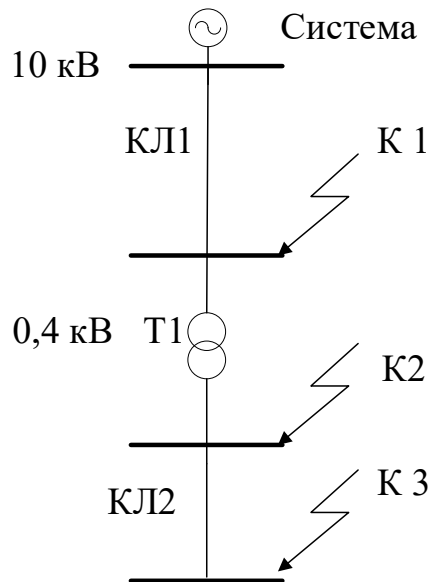


Рисунок 2 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал

Исходя из «исходной расчетной схемы, составляется исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения модернизируемой ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал (рисунок 3)» [19].

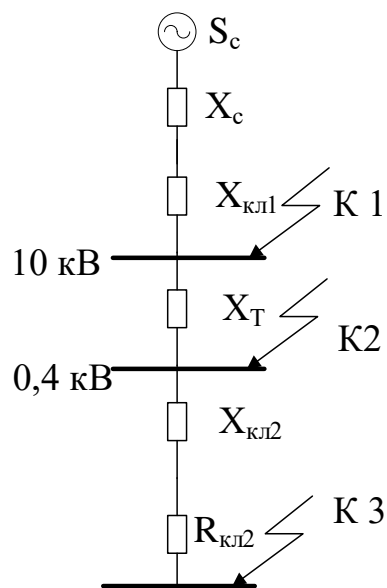


Рисунок 3 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения модернизируемой ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал

Следующим шагом алгоритма расчёта токов КЗ, будет расчёт сопротивлений элементов схемы замещения.

Все расчёты производятся в относительных единицах при последующем переводе полученного результата расчёта максимального тока КЗ в именованные единицы.

Выбираются базисные условия для проведения расчётов.

«В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 10 кВ. Мощность энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал» [16].

«Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал» [18]:

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

«Базисное напряжение схемы ЭС АО «Апатит» Кировский филиал определяется так» [6]:

$$U_{\sigma.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (12)$$

По условию (12):

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

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

«Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы замещения системы ЭС АО «Апатит» Кировский филиал» [8]:

$$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3}U_{\bar{\sigma}}}. \quad (13)$$

По условию (13):

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

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

«Значение индуктивного сопротивления кабельных линий схемы замещения» [16], с учётом приведения результатов к базисным условиям схемы:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{y\bar{\sigma}.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_B^2}. \quad (14)$$

где « $X_{y\bar{\sigma}.W1}$, $L_{y\bar{\sigma}.W1}$ – соответственно, удельное индуктивное сопротивление, Ом/км, и длина линии, км» [1].

Для кабельных линий схемы, с учётом их номинальных условий:

$$X_{KЛ1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,005 \text{ о.е.}$$

$$X_{KЛ2} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,0135 \text{ о.е.}$$

«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 кабельных линий схемы замещения, для каждой цепи линии» [16], с учётом приведения результатов к базисным условиям:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{y\partial.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_B^2}. \quad (15)$$

где « $R_{y\partial.W1}$, $R_{y\partial.W1}$ – соответственно, удельное активное сопротивление, Ом/км, и длина линии, км» [1].

Для кабельных линий схемы, с учётом их номинальных условий:

$$R_{KL1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,006 \text{ o.e.}$$

$$R_{KL2} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,093 \text{ o.e.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16] с учётом паспортного значения напряжения КЗ – $U_{K.3}$:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{H.T}}. \quad (16)$$

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

«Максимальное значение токов трёхфазного КЗ» [16]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{H.T}}. \quad (17)$$

«Полное сопротивление цепи КЗ до расчётной точки К1 и ток КЗ в расчётной точке К1» [16]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{KL1})^2 + R_{KL2}^2}. \quad (18)$$

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

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

«Полное сопротивление цепи КЗ до точки К2 и ток КЗ в точке К2» [20]:

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T)^2 + R_{KЛ2}^2}. \quad (19)$$

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

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

«Полное сопротивление цепи КЗ до точки К3 и ток КЗ в точке К3» [18]:

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T + X_{KЛ2})^2 + (R_{KЛ1} + R_{KЛ2})^2}. \quad (20)$$

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

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

«Ударный ток» [16] с учётом ударного коэффициента $K_{y\delta}$:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot K_{y\delta} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (21)$$

$$i_{y\delta.k1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА.}$$

$$i_{y\delta.k2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА.}$$

$$i_{y\delta.k3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА.}$$

Формула для расчёта двухфазного несимметричного тока КЗ, необходимое для проверки условий чувствительности уставок РЗА:

$$I_{\kappa}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (22)$$

Двухфазное КЗ в точках К1-К3 в числовых значениях:

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,25 = 1,09 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = 0,87 \cdot 3,71 = 3,23 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,84 = 1,60 \text{ кА.}$$

Дальнейший расчет сопротивлений цепи питания КЗ и расчётов токов КЗ для других точек выполнен аналогично с приведением полученных результатов в форме таблицы 5.

Таблица 5 – Результаты расчетов токов короткого замыкания

Параметр	Единица измерения	Числовое значение технического параметра и полученного результата		
		Расчётная точка К1	Расчётная точка К2	Расчётная точка К3
$I_{\kappa 3}^{(3)}$	кА	1,25	3,71	1,84
$I_{\kappa 3}^{(2)}$	кА	1,09	3,23	1,60
$i_{уд.к}$	кА	2,47	5,25	2,60

Полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания, а также величины ударных токов и токов двухфазного КЗ, на шинах 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, используются в работе для соответствующих проверок выбранного нового оборудования распределительных устройств подстанции, а также для проверки уставок релейной защиты по условиям чувствительности защиты силовых трансформаторов и питающих линий на стороне 10 кВ объекта исследования. Данные мероприятия являются мероприятиями по модернизации оборудования подстанции и проводятся в работе далее с необходимым техническим обоснованием.

Выбор и проверка электрических аппаратов для модернизации 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 питающей ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал путём замены ячеек и оборудования в РУ-10 кВ.

Ранее в работе было установлено, что к «морально и технически устаревшим и выработавшим свой ресурс электрическим аппаратам, которые требуют замены на новые современные аппараты соответствующих марок, в РУ-10 кВ на рассматриваемой подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал относятся устаревшие масляные горшковые выключатели высокого напряжения, которые являются морально и физически устаревшими марками оборудования» [17].

Кроме того, также было установлено, что требуют замены все устаревшие ячейки РУ-10 кВ типа КСО-366.

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

На основании обзора современных типов ячеек распределительных устройств классов напряжения 6(10) кВ, в работе в РУ-10 кВ предложено установить новые ячейки комплектного распределительного устройство типа КРУ D-12P (изготовитель – электротехнический завод «Вектор»).

Внешний вид и конструкция ячеек комплектного распределительного устройство типа КРУ D-12P (изготовитель – электротехнический завод «Вектор»), которые применяется на РУ-10 кВ подстанции ТП-10/0,4 кВ АО

«Апатит» Кировский филиал в результате проведения модернизации, показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид и конструкция ячеек комплектного распределительного устройство типа KPU D-12P (изготовитель – электротехнический завод «Вектор»)

Предварительно для установки в новых ячейках KPU D-12P принимается выключатели вакуумные нового образца и модификации, предназначенные для установки в ячейках KPU, марки VD-4-10-20/630-U2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция).

Разъединители в новых ячейках KPU D-12P не устанавливаются по технической комплектации (их заменяют втычные контакты).

Далее на основании расчётов необходимо проверить предварительно выбранное новое оборудование для установки на подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Проверяются новые выключатели для установки в ячейках КРУ D-12P с целью защиты и коммутации оборудования в ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

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 [18]:

- «по номинальному напряжению» [13]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (23)$$

где « $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя)» [15];

- «по максимальному рабочему току» [13]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (24)$$

где « $I_{раб.макс}$, I_n – соответственно максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя)» [16];

- проверка выключателя на симметричный ток отключения:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (25)$$

где « $I_{пт}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения дугогасительных контактов» [12];

« $I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА» [13];

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (26)$$

где « $i_{ат}$ – значение апериодической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [13];

« β_n – номинальное значение относительного содержания апериодической составляющей в отключаемом токе КЗ» [13];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [13]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (27)$$

где « $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [14];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [11];

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

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (28)$$

где « $i_{пр.с}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [11];

« i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [10];

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

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (29)$$

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$ » [10];

« I_T – предельный ток термической устойчивости, A » [10];

« t_T – время протекания тока термической устойчивости, c » [10].

При этом тепловой импульс с учётом токов КЗ и отключения цепи:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (30)$$

По приведённым выше условиям, с учётом рассчитанных параметров электрической сети 10 кВ, далее в работе необходимо осуществить проверку выключателей высокого напряжения для их установки в соответствующих распределительных устройствах на реконструируемой и модернизируемой ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал .

Результаты выбора выключателей высокого напряжения представлены в работе в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Выключатели высокого напряжения VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 1,25 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,47 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 32 \text{ кА}$
	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 = 4,69 \text{ кА}^2 \text{с}$	$B_k = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{с}$

Выбранные выключатели удовлетворяют всем требуемым условиям. Совместно с данными выключателями в ячейках также устанавливаются ограничители перенапряжения марки ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

Также вместе с высоковольтными выключателями, в ячейках РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал устанавливаются также новые трансформаторы тока (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты выбора новых трансформаторов тока для установки в ячейках РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Трансформаторы тока ТПОЛМ-10	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А}$	$I_{ном} = 100 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,47 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 =$ $= 4,69 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Все выбранные электрические аппараты напряжением 10 кВ показаны на графическом листе 2.

Далее проводится проверочный расчёт электрических аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал.

Установлено, что они не нуждаются в модернизации, поэтому в работе выполняется их проверка на соответствие условиям сети.

Для защиты и коммутации питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ в работе применяются автоматические воздушные выключатели (автоматы).

Они устанавливаются в РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, а также во ВРУ для защиты и коммутации отходящих ЩР и ЩО.

Для защиты и коммутации питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ в работе применяются автоматические воздушные выключатели (автоматы).

Известно, что автоматы являются наилучшим вариантом защиты и коммутации сети 0,4 кВ.

Они обеспечивают автоматическое отключение цепи под действием токов КЗ и прочих ненормальных режимов.

Также автоматы используются в коммутационных схемах с целью включения и отключения линий.

Такие процессы возможно осуществлять как в автоматическом режиме, так и в ручном.

Основными элементами автомата, обеспечивающим отключение, являются расцепители. Наибольшее распространение получили автоматы с тепловыми и электромагнитными типами расцепителей.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата выбираются, исходя из условий» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (31)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (32)$$

«Ток электромагнитного расцепителя» [15]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k. \quad (33)$$

где « $K_{ТО}$ – коэффициент кратности» [16].

«В случае, если автомат выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем, зависящим от тока уставки теплового расцепителя» [15]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (34)$$

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

«Результаты расчёта автоматов системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал для защиты питающей сети её потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ осуществлён аналогично (таблица 8)» [8].

Таблица 8 – Результаты проверочного расчёта трёхфазных автоматов ввода и секционного автомата ТП-10/0,4 кВ, а также питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал

Потребитель	I_p, A	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р.}, A$	$I_{у.э.р.}, A$
ТП-10/0,4 кВ					
Вводные автоматы	969,2	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат	860,12	ВА 55-41	1000	1000	3000
ВРУ					
Вводной автомат СШ I	543,81	ВА 57-39	630	630	1890
Вводной автомат СШ II	672,21	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат	615,54	ВА 57-39	630	630	1890
ЩР1	8,84	ВА 47-29	10	10	30
ЩР2	2,66	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР3	55,03	ВА 52-31	100	63	189
ЩР4	6,64	ВА 47-29	10	10	30
ЩР5	97,66	ВА 52-31	100	100	300
ЩР6	12,33	ВА 47-29	16	16	48
ЩР7	0,57	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР8	6,80	ВА 47-29	10	10	30
ЩР9	250,06	ВА 52-37	400	320	960
ЩР10	0,23	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР11	8,80	ВА 47-29	10	10	30
ЩР12	51,84	ВА 52-31	100	63	189
ЩО1	36,52	ВА 47-29	40	40	120
ЩО2	5,83	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
ЩР13	158,54	ВА 52-35	250	200	600
ЩР14	183,50	ВА 52-35	250	200	600
ЩР15	78,74	ВА 52-31	100	100	300
ЩР16	243,01	ВА 52-35	250	200	600
ЩО3	7,61	ВА 47-29	10	10	30
ЩО4	0,81	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9

«Все электрические аппараты, выбранные в работе, показаны в её графической части» [9].

Выводы по разделу.

В результате внедрения практических мероприятий по модернизации устаревшего оборудования и замены типа ячеек РУ-10 кВ, а также питающей кабельной линии 10 кВ, на питающей трансформаторной подстанции ТП-

10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, обоснованы и рекомендованы к внедрению следующие практические мероприятия:

- проведён расчёт нагрузок отдельных присоединений, секций сборных шин, а также всей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал в целом;
- для установки на трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал обоснованы и рекомендованы к установке силовые трансформаторы марки ТМ-630/10. Выбранные трансформаторы проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, а также на допустимую аварийную перегрузку;
- в качестве конструктивного выполнения понизительной ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, выбрана современная блочная комплектная трансформаторная подстанция с двумя трансформаторами ТМ-630/10, имеющая значительные преимущества перед аналогичными разработками;
- выбраны и проверены сечения проводников трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, а также «питающей и распределительной сетей системы электроснабжения организации. Для питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ объекта выбраны инновационные силовые кабели с изоляцией со сшитого полиэтилена марки ПвПу2г-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее. Для электроснабжения питающей сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ объекта (ВРУ, ЩР и ЩО) в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки ВВГнг-LS при питании по радиальной схеме без ответвлений» [8];
- проведён расчёт максимальных токов трёхфазного и двухфазного короткого замыкания, а также ударных токов, в сети 10 кВ и 0,38/0,22 кВ;

- выбраны новые современные ячейки РУ-10 кВ комплектного распределительного устройство типа КРУ D-12P (изготовитель – электротехнический завод «Вектор»);
- для установки в новых ячейках КРУ типа КРУ D-12P, обоснован выбор вакуумных выключателей нового образца и модификации марки VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция), а также новых трансформаторов тока марки ТПОЛМ-10;
- проверено оборудование для установки в РУ-0,4 кВ трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, а также в питающей и распределительной системе электроснабжения организации напряжением 0,38/0,22 кВ, в результате чего проверены вводные и секционный автоматы для установки в РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, а также вводные, секционный и линейные автоматы ВРУ для защиты и коммутации отходящих ЩР и ЩО.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по модернизации оборудования РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, а также питающей кабельной линии 10 кВ, с учётом приведённых дополнительных аспектов по проверке силовых трансформаторов и выбору новых питающих кабельных линий на стороне 10 кВ подстанции.

Далее в работе проводится выбор уставок релейной защиты и автоматики модернизированной схемы электрических соединений РУ-10 кВ питающей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Релейная защита и автоматика подстанции

Выбор микропроцессорных блоков релейной защиты

Далее в работе проводится выбор блоков РЗА для защиты оборудования трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал после проведения модернизации оборудования РУ-10 кВ подстанции с заменой ячеек и основного оборудования, а также проведённой модернизации питающей кабельной линии 10 кВ.

В старых ячейках типа КСО-366, которые были установлены изначально в РУ-10 кВ и которые рекомендуется демонтировать и заменить на ячейки типа КРУ D-12Р, были установлены старые комплекты защит на базе электромеханических типов реле РТ-40, РТМ и РТВ-80.

Известно, что устаревшее и изношенное оборудование электромеханической релейной защиты не обеспечивает требуемый уровень защит элементов ПС и отходящих линий [12].

Требуется обеспечить микропроцессорную РЗ на основе специализированных терминалов, имеющую надлежащий уровень быстродействия, надежности и селективности.

Сравнительная техническая характеристика современных терминалов РЗА для защиты силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Сравнительная техническая характеристика терминалов релейной защиты для защиты силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал

Сравнительные величины	Сириус-Т	БМР3-153-УЗТ	RET 521
Интерфейсы связи	2xRS-485, 2xEthernet RJ45	RS-485, Ethernet RJ45	RS-485, Ethernet RJ45
Назначение	Защита силовых трансформаторов		
Емкость памяти архива событий, Мб	1000	512	512
Емкость памяти архива срабатываний, Мб	75	25	25
Потребляемая мощность, Вт, не более	25	30	28
Масса не более, кг	7	7,8	7,4

Исходя из результатов проведённого анализа, для защиты силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, принимаются к установке терминалы Сириус-Т производства ЗАО «Радиус-Автоматика», внешний вид которых показан на рисунке 5.



Рисунок 5 – Внешний вид терминала Сириус-Т, применяемого в работе для защиты силовых трансформаторов

Функции защиты терминала Сириус-Т:

- двухступенчатая дифференциальная токовая защита (ДТЗ);
- цифровое выравнивание параметров фазы токов плечей ДТЗ;
- компенсация токов небаланса от РПН;
- контроль небаланса в плечах ДТЗ;
- возможность подключения газового реле и устройства РПН;
- ненаправленная двухступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ) и токовая отсечка (ТО) со стороны ВН;
- цифровая сборка токовых цепей ВН в треугольник;
- программная блокировка защит по гармоникам;
- защита от перегрузки.

Газовая защита трансформатора выполняется на газовом реле ВГ-80/Q.

Газовое реле предназначено для контроля состояния масла в баке, который производится путем анализа наличия выделяющихся при разложении масла (например, при перегреве) различных газов.

Своевременное выявление газообразования в баке трансформатора позволяет предотвратить критические повреждения обмоток и других элементов, исключить опасность для персонала ТП.

Релейная защита питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал также выполняется на современных микропроцессорных терминалах.

Сравнительная техническая характеристика некоторых современных терминалов РЗ для защиты линий приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Сравнительная техническая характеристика терминалов релейной защиты отходящих линий 10 кВ

Сравнительные величины	Сириус-2Л-02	БМРЗ-101-Д-КЛ-01	ТОР 200 Л
Назначение	Универсальный, защита любых присоединений	Защита КЛ	Защита КЛ и ВЛ
Сравнительные величины	Сириус-2Л-02	БМРЗ-101-Д-КЛ-01	ТОР 200 Л
Интерфейсы связи	2xRS-485, 2xEthernet RJ45	RS-485, Ethernet RJ45	RS-485
Емкость памяти архива событий, Мб	1000	512	512
Емкость памяти архива срабатываний, Мб	50	25	25
Потребляемая мощность, Вт, не более	25	32	30
Масса не более, кг	7	7,4	7,6

Выбираются в работе для защиты питающих линий 10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, современные универсальные блоки (терминалы) Сириус-2Л-02 производства ЗАО «Радиус-Автоматика», внешний вид которых показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид терминала Сириус-2Л-02, терминала Сириус-Т, применяемого в работе для защиты питающих линий 10 кВ

Функции защиты терминала Сириус-2Л-02:

- дуговая защита;
- МТЗ;
- ТО;
- от обрыва фазы;
- от замыканий на землю (ЗНЗ);
- защита минимального напряжения;
- защита от повышения напряжения;
- возможность подключения газового реле;
- автоматическая частотная разгрузка;
- частотное автоматическое включение;
- контроль наличия напряжения;

- автоматика управления выключателем;
- автоматическое повторное включение линий;
- определение расстояния до места повреждения в линии.

Далее в работе выбираются уставки РЗА для защиты ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

3.2 Выбор уставок релейной защиты и автоматики блоков РЗА

Проводится выбор уставок релейной защиты и автоматики для защиты питающих линий 10 кВ и силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Предусмотренные виды защит силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал и токи, выставляемые в блоках защиты, приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Предусмотренные виды защит силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал и токи, выставляемые в блоках защиты

Тип защиты	Назначение	Токи, выставляемые в блоках защиты
Дифференциальная защита	Основная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод ВН) $I''=3,71$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод НН)
Максимальная токовая защита (МТЗ)	Резервная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод ВН)
Токовая отсечка (ТО)	Резервная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод ВН)
Защита от перегрузки	Основная защита	$I_{ном}=51$ А (максимальный ток трансформатора, ввод ВН)
Газовая защита	Резервная защита	-

Предусмотренные виды защит отходящих линий 10 кВ и токи, выставляемые в блоках защиты питающих линий 10 кВ, приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Предусмотренные виды защит отходящих линий 10 кВ и токи, выставяемые в блоках защиты

Тип защиты	Назначение	Токи, выставяемые в блоках защиты
Максимальная токовая защита (МТЗ)	Основная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ) $I^{(2)}=1,09$ кА двухфазный ток КЗ)
Токовая отсечка (ТО)	Резервная защита	$I''=1,25$ кА (трехфазный ток КЗ) $I^{(2)}=1,09$ кА двухфазный ток КЗ)
Защита от замыканий на землю (ЗНЗ)	Резервная защита	$I^{(1)} = 5$ А

Таким образом, будут защищены все элементы ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Выводы по разделу.

В работе, основываясь на приведённых выше полученных результатах, рассчитаны уставки основных устройств микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов 10/0,4 кВ и питающих линий на подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Для применения на объекте исследования обоснован выбор новых современных микропроцессорных блоков (терминалов) РЗиА:

- терминал Сириус-Т – для защиты силовых трансформаторов данной подстанции;
- терминал Сириус-2Л-02 – для защиты питающих линий 10 кВ данной подстанции.

4 Система учёта и контроля электроэнергии на подстанции

Далее в работе проводится выбор системы учёта и контроля электроэнергии на подстанции для контроля и управления электроэнергией на трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, необходимой на объекте после проведения модернизации оборудования РУ-10 кВ подстанции с заменой ячеек и основного оборудования, а также проведённой модернизации питающей кабельной линии 10 кВ.

В качестве системы контроля и учёта электроэнергии для применения на ТП-10/0,4 кВ, выбирается современное решение в виде автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией (далее – АСКУЭ).

На данном этапе времени внедрения АСКУЭ является рациональным шагом в решении многих проблем, связанных с учетом и контролем расхода электроэнергии.

Использование современных электронных счетчиков электроэнергии с классом точности от 0,2 до 0,5 дает возможность гораздо вернее вести учет электроэнергии. Благодаря АСКУЭ потребитель может расплачиваться за многотарифные системой учета, дает ему возможность более экономить на расходах за энергоресурсы.

В основе любых автоматизированных систем лежат методы и математические модели, которые позволяют осуществлять нормирования и прогнозирования энергопотребления.

Применение качественных, современных и оперативных методик позволяют повысить точность и быстродействие, значительно уменьшив при этом ошибку прогнозирования и неопределённость. Этим обосновывается необходимость применения нейронных сетей для контроля и учёта энергопотребления средствами автоматизированных систем учета и контроля электроэнергии. Метод графического интегрирования легко реализуется на ПК, и с учетом внесенных уточнений обеспечивает достаточно высокую

точность расчетов [20]. Аспекты, приведённые выше, обуславливают актуальность выбранной тематики исследования.

Проводится анализ методов прогнозирования электропотребления, которые лежат в основе АСКУЭ. Методы прогнозирования электропотребления в системах АСКУЭ представлены на рисунке 7.



Рисунок 7 – Методы прогнозирования электропотребления в системах АСКУЭ

«В результате выбора наиболее целесообразного метода контроля и учёта энергопотребления средствами современных механизмов автоматизированных систем учета и контроля электроэнергии, установлена целесообразность применения методик, основанной на базе искусственных нейронных сетей, имеющих безусловное преимущество» [4] в сравнении с аналогичными устаревшими методами. В связи с этим, в работе предлагается

применить на объекте проектирования систему АСКУЭ, обученную и работающую на основе нейросетей, а также на основе современного быстродействующего и надёжного SPLIT-счетчика марки CE208 производства «Энергомера». Такая схема АСКУЭ, с учётом выбранного базового оборудования и технологии, имеет следующие преимущества (по сравнению с устаревшими системами учёта и контроля, а также аналогичными базовыми разработками АСКУЭ):

- гораздо более высокая надёжность;
- значительно более высокое быстродействие;
- улучшенное качество сигнала;
- меньшая погрешность вычислений и прогнозирования;
- высокая адаптируемость к электрическим системам любой сложности и конфигурации;
- меньший срок окупаемости капитальных затрат;
- дополнительные базовые функции в виде модуля прогнозирования потерь электроэнергии и модуля борьбы с несанкционированными подключениями.

Таким образом, выбор данного типа АСКУЭ, обученную и работающую на основе нейросетей, а также на основе современного быстродействующего и надёжного SPLIT-счетчика марки CE208 производства «Энергомера», можно рекомендовать для применения на трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Выводы по разделу.

На основе проведения анализа, выбрана АСКУЭ, обученная и работающая на основе нейросетей, а также на основе современного быстродействующего и надёжного SPLIT-счетчика марки CE208 производства «Энергомера», которую можно рекомендовать для применения на трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Заключение

В результате выполнения работы, проведена модернизация (полная замена) устаревших ячеек и их силового оборудования в распределительном устройстве 10 кВ, а также замена питающих кабельных линий 10 кВ, на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

В работе приведена характеристика АО «Апатит» Кировский филиал.

Проведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, с анализом технических данных нагрузки потребителей. В результате проведения анализа исходных технических данных схемы нормальных соединений и состояния основного оборудования на объекте, было установлено следующее:

- из основного оборудования, в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал установлены устаревшие и технически изношенные ячейки одностороннего обслуживания типа КСО-366. В этих ячейках находятся выключатели высокого напряжения марки ВМГ-133, а также разъединители РВ-6, которые были установлены в ячейках вместе с их вводом в эксплуатацию (1978 год). Данные аппараты устарели, также устарели и износились ячейки РУ-10 кВ, поэтому в работе предлагается их заменить на новое оборудование путём проведения модернизации, мероприятия по которой необходимо обосновать и подтвердить на основе расчётов;
- установлено, что питание данной подстанции 10/0,4 кВ осуществляется кабельной линией электропередачи с применением силовых кабелей марки АСБ-10 (3×25), по радиальной схеме, к которой подключена понизительная подстанция 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал. Данная кабельная линия 10 кВ была введена в эксплуатацию в 1978 году. По состоянию на начало 2023 года, на ней неоднократно проводились ремонты вследствие аварий и результатов действия токов коротких замыканий. Таким образом, для

данной КЛ-10 кВ требуется выбрать новые силовые кабели, отвечающие всем требованиям и критериям по надёжности, бесперебойности питания и его экономичности;

- предложенную модернизацию ячеек РУ-10 кВ и питающей кабельной линии 10 кВ на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, осуществляемую с заменой устаревшего основного оборудования, планируется внедрить без реконструкции схемы электрических соединений подстанции. Таким образом, в работе предложено заменить неэффективные, ненадёжные и старые ячейки типа КСО-366 с оборудованием 10 кВ, на современные ячейки типа КРУ внутренней установки (ячейки марки D-12P).

Кроме того, в работе, для подтверждения работоспособности модернизированной схемы электрических соединений, а также комплексного обоснования принятых решений по модернизации основного оборудования ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, также предлагается:

- проверить целесообразность установки на подстанции силовых трансформаторов принятых марок, с учётом их нагрузочной способности в нормальном режиме работы, и допустимой перегрузки в послеаварийном режиме работы с учётом резервирования схемы;
- проверочным путём обосновать целесообразность применения на ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал проводников питающей и распределительной сетей, а также электрических аппаратов, напряжением 0,38/0,22 кВ.

В результате внедрения практических мероприятий по модернизации устаревшего оборудования и замены типа ячеек РУ-10 кВ, а также питающей кабельной линии 10 кВ, на питающей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, обоснованы и рекомендованы к внедрению следующие практические мероприятия:

- проведён расчёт нагрузок отдельных присоединений, секций сборных шин, а также всей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал в целом;
- для установки на трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал обоснованы и рекомендованы к установке силовые трансформаторы марки ТМ-630/10. Выбранные трансформаторы проверены на загрузку мощностью в нормальном режиме работы, а также на допустимую аварийную перегрузку;
- в качестве конструктивного выполнения понизительной ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения АО «Апатит» Кировский филиал, выбрана современная блочная комплектная трансформаторная подстанция с двумя трансформаторами ТМ-630/10, имеющая значительные преимущества перед аналогичными разработками;
- выбраны и проверены сечения проводников трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, а также питающей и распределительной сетей системы электроснабжения организации. Для питающей кабельной линии 10 кВ ТП-10/0,4 кВ объекта выбраны инновационные силовые кабели с изоляцией со сшитого полиэтилена марки ПвПу2г-10 (3×25), условия прокладки – в стандартной земляной траншее. Для электроснабжения питающей сети потребителей напряжением 0,38/0,22 кВ объекта (ВРУ, ЩР и ЩО) в работе приняты низковольтные пятижильные кабели марки ВВГнг-LS при питании по радиальной схеме без ответвлений;
- проведён расчёт максимальных токов трёхфазного и двухфазного короткого замыкания, а также ударных токов, в сети 10 кВ и 0,4 кВ;
- выбраны новые современные ячейки РУ-10 кВ комплектного распределительного устройство типа КРУ D-12Р (изготовитель – электротехнический завод «Вектор»);
- для установки в новых ячейках КРУ типа КРУ D-12Р, обоснован выбор вакуумных выключателей нового образца и модификации

марки VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция), а также новых трансформаторов тока марки ТПОЛМ-10;

- проверено оборудование для установки в РУ-0,4 кВ трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, а также в питающей и распределительной системе электроснабжения организации напряжением 0,38/0,22 кВ, в результате чего проверены вводные и секционный автоматы для установки в РУ-0,4 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ, а также вводные, секционный и линейные автоматы ВРУ для защиты и коммутации отходящих ЩР и ЩО.

В работе, основываясь на приведённых выше полученных результатах, рассчитаны уставки основных устройств микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов 10/0,4 кВ и питающих линий на подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал. Для применения на объекте исследования обоснован выбор новых современных микропроцессорных блоков (терминалов) РЗиА:

- терминал Сириус-Т – для защиты силовых трансформаторов;
- терминал Сириус-2Л-02 – для защиты питающих линий 10 кВ.

Выбрана АСКУЭ, обученная и работающая на основе нейросетей, а также на основе современного быстродействующего и надёжного SPLIT-счетчика марки СЕ208 производства «Энергомера», которую можно рекомендовать для применения на трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по модернизации ячеек РУ-10 кВ и их электрооборудования, а также модернизации питающей кабельной линии 10 кВ, в схеме электрических соединений подстанции 10/0,4 кВ АО «Апатит» Кировский филиал, которая проведена без изменения и реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима на данном объекте проектирования.

Список используемых источников

1. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
2. Кировский филиал АО «Апатит». [Электронный ресурс]: URL: https://www.phosagro.ru/about/holding_kirovsk/ (дата обращения: 14.03.2023).
3. Китунович Ф.Г. Энергетика России. 1920-2020 гг. В 4 томах. М.: Энергия, 2020. 1072 с.
4. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2016. 180 с.
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2020. 320 с.
6. КРУ «Классика» серии D-12РТ. [Электронный ресурс]: URL: <https://websor.ru/oborudovanie-i-materialy/podstanciya/kamery-kso/d-12pt/> (дата обращения: 14.03.2023).
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. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
9. ПвПу2г. Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена в полиэтиленовой оболочке с продольной и поперечной герметизацией на напряжение 10 кВ. [Электронный ресурс]: URL: https://www.ruscable.ru/info/wire/mark/pvpu2g_kamkabel/ (дата обращения: 14.03.2023).
10. Подстанция БКТП-П 6(10)/0,4. [Электронный ресурс]: URL: <http://ru-transformator.ru/bktp-p-price/bktp-p-630-6-0-4-295.html> (дата обращения: 14.03.2023).

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 (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
14. Продукция «РАДИУС Автоматика». Терминалы «Сириус» [Электронный ресурс]: URL: https://ep.ru/product/radius_a_30.php (дата обращения: 14.03.2023).
15. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
16. Свириденко Э.А. Основы электротехники и электроснабжения. М.: Техноперспектива, 2018. 436 с.
17. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
18. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 14.03.2023).
19. 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: 14.03.2023).
20. 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».