

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 Проектирование электрической части подстанции 110/10 кВ «Карьерная»

Обучающийся

Д. Ф. Нафиков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д. А. Кретов

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

Тольятти 2023

Аннотация

В работе проведено проектирование ПС-110/10 кВ «Карьерная», осуществляемое путём внесения изменений в существующую схему главных электрических соединений, обусловленную подключением новых потребителей к объекту исследования.

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

Также в работе проведён расчёт и выбор уставок релейной защиты силовых трансформаторов на объекте проектирования.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по реконструкции главной электрической схемы нормального режима распределительных устройств 110 кВ и 10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Для наглядной визуализации информации, в работе использовано семь рисунков и десять таблиц.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика подстанции.....	7
1.1 Исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная»	7
1.2 Требования нормативных документов к понизительным подстанциям	14
1.3 Обоснование предложений по реконструкции подстанции	17
2 Проектирование системы электроснабжения подстанции	21
2.1 Определение расчётных электрических нагрузок	21
2.2 Проверочный расчёт силовых трансформаторов подстанции	27
2.3 Выбор и проверка проводников подстанции	34
2.4 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции	41
2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов	50
3 Расчёт релейной защиты силовых трансформаторов подстанции.....	59
3.1 Расчёт первичных токов и коэффициентов трансформации трансформаторов тока	59
3.2 Расчёт дифференциальной защиты трансформаторов	61
3.3 Расчёт защиты от перегрузки силовых трансформаторов	63
3.4 Расчёт максимальной токовой защиты силовых трансформаторов	63
3.5 Газовая защита трансформаторов	66
Заключение	68
Список используемых источников.....	71

Введение

Районные питающие понизительные подстанции переменного напряжения в системе распределения электроэнергии населённых пунктов, являются важнейшей составляющей, от работоспособности которой зависит надёжность всей энергетической системы.

Далее, согласно традиционной системе электроснабжения, от районной энергетической системы получают питание понижающие подстанции, которые далее питают потребительские подстанции на номинальном напряжении 6(10) кВ.

Одна из таких понизительных подстанций ПС-110/10 кВ «Карьерная» детально рассматривается в данной работе.

Все трансформаторные подстанции являются важнейшим звеном в системе распределения электроэнергии как населённых пунктов, так и промышленности.

Известно, что основными составляющими современных понижающих 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.

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 реконструкция схем электрических соединений и модернизация оборудования современных трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы всех типов является актуальным заданием современной электроэнергетики.

Основной целью данной работы является проектирование понизительной подстанции переменного тока ПС-110/10 кВ «Карьерная», которое осуществляется путём внесения изменений в схему главных нормальных электрических соединений подстанции.

Данная необходимость внесения изменений в схему объекта, в работе обусловлена подключением, с последующим вводом в эксплуатацию, дополнительных потребителей к рассматриваемой ПС-110/10 кВ «Карьерная» на стороне 10 кВ.

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

Предметом исследования являются схема электрических соединений, включая электрические сети, аппараты, устройства вторичных цепей (собственные нужды, релейная защита и автоматика) распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная», а также силовые трансформаторы данной подстанции.

Актуальность работы обусловлена необходимостью реконструкции схем главных электрических соединений нормального режима понизительных подстанций и электростанций, для обеспечения бесперебойного, надёжного и качественного электроснабжения потребителей [16].

Для решения поставленных задач, в работе проводится анализ исходных данных, с указанием климатических, технических и топографических условий, расчёт электрических нагрузок на всех уровнях схемы нормальных соединений подстанции, проверка силовых трансформаторов по перегрузочной способности, выбор и проверка проводников и основного оборудования распределительных устройств подстанции, расчёт токов

короткого замыкания и ударных токов, а также минимальных значений токов КЗ, выбор схемы и трансформаторов собственных нужд подстанции, расчёт релейной защиты и автоматики подстанции.

В работе должны быть учтены соответствие действующим строительным, технологическим нормам, предусматривающим мероприятия, обеспечивающие конструктивную надежность, взрывопожарную, пожарную безопасность объекта, защиту населения и устойчивую работу объекта в чрезвычайных ситуациях, а также защиту окружающей природной среды при его эксплуатации.

Результатом «работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений» [15] нормального режима на ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Предлагаемые мероприятия по реконструкции объекта, в работе осуществляются при неукоснительном соблюдении основополагающих документов электроэнергетики и законодательных актов [7].

1 Исходная характеристика подстанции

1.1 Исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная»

В работе приводится исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Рассматриваемая в работе ПС-110/10 кВ «Карьерная» является одной из потребительских подстанций региональных электрических сетей Республики Узбекистан, обеспечивая электроснабжение промышленных, бытовых и коммунальных потребителей электроэнергии.

Данная подстанция ПС-110/10 кВ «Карьерная» территориально расположена в г. Зарафшан Навоийской области Республики Узбекистан.

По месту расположения в энергосистеме, ПС-110/10 кВ «Карьерная» является узловой подстанцией.

Она выполняет важнейшую роль в резервировании потребления электроэнергии в системе электроснабжения всего региона, выполняя роль также транзитной подстанции для питания узлов на напряжении 110 кВ.

Рассматриваемая подстанция находится на балансе филиала «Зарафшанэнерго» АО «Региональные электрические сети» (Узбекистан), которая выполняет важнейшую роль в обслуживании и ремонте оборудования на данном объекте исследования.

Питание ПС-110/10 кВ «Карьерная» осуществляется от РУ-110 кВ ПС-220/110 кВ «Зарафшан» двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки 2АС-150/7,84 (линия «Зарафшан – Карьерная»).

Кроме того, от РУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» осуществляется транзит мощности по двум направлениям, резервируя схемы понизительной подстанции «Кумколь»:

- первое направление резервирования и транзита – резервное питание подстанции ТП-110/35/10 кВ «Кумколь» (трансформатор Т1):

реализуется с помощью воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ с применением провода марки АС-150/7,84 (диспетчерское наименование транзитной линии – «ВЛ 110 кВ №1 ПС «Кумколь-1»»);

– второе направление резервирования и транзита – резервное питание подстанции ТП-110/35/10 кВ «Кумколь» (трансформатор Т2): реализуется с помощью воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ с применением провода марки АС-150/7,84 (диспетчерское наименование транзитной линии – «ВЛ 110 кВ №2 ПС «Кумколь-2»»).

Таким образом, можно сделать вывод, что рассматриваемая в работе ПС-110/10 кВ «Карьерная» осуществляется транзит мощности по двум направлениям, резервируя схему ТП-110/35/10 кВ «Кумколь».

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

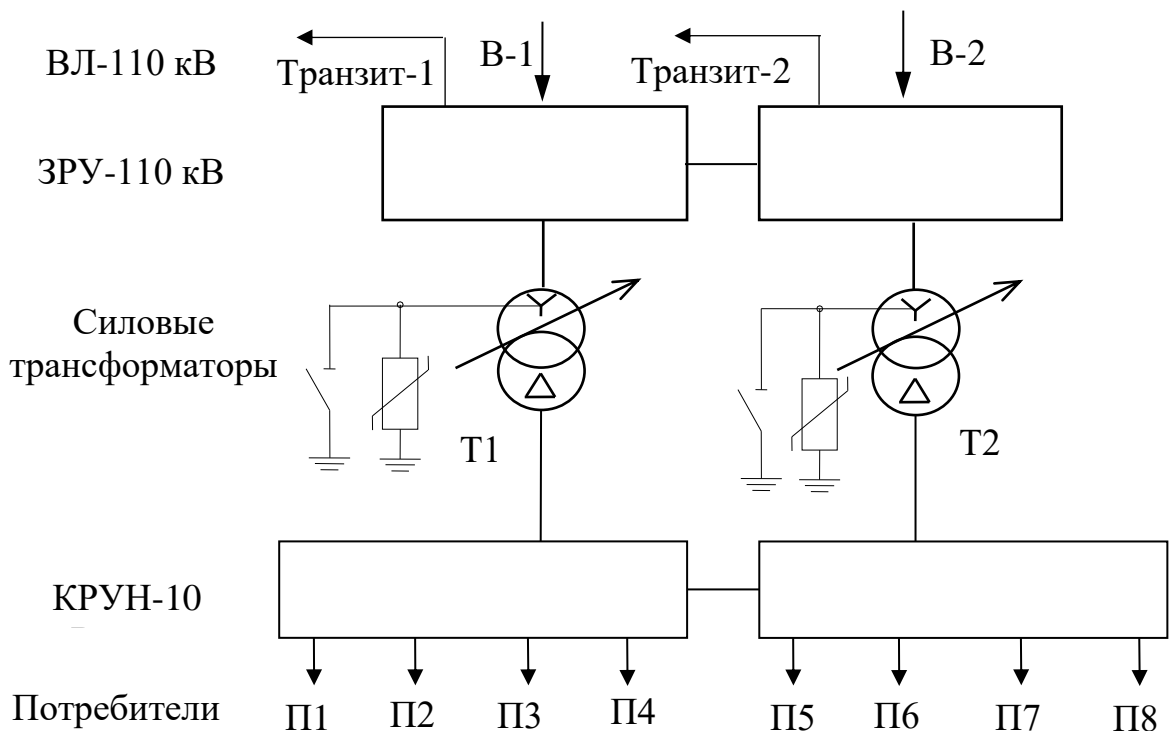


Рисунок 1 – Структурная схема ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Так как ПС-110/10 кВ «Карьерная» была введена в эксплуатацию в 2012 году, всё оборудование, установленное в её распределительных устройствах, является новым и современным, поэтому не требует замены.

Первым основным конструктивным элементом ПС-110/10 кВ «Карьерная» выступает «распределительное устройство высшего напряжения (110 кВ). Оно необходимо для приёма и распределения электроэнергии по двум направлениям: на силовые трансформаторы» [12] подстанции и на обеспечение транзита к двум трансформаторам ПС «Кумколь».

Так как подстанция ПС-110/10 кВ «Карьерная» по месту расположения в схеме – узловая, следовательно, в РУ-110 кВ должна применяться соответствующая схема, обеспечивающая, с одной стороны, надёжное питание потребителей подстанции, а с другой стороны обеспечивая надёжный транзит мощности с учётом резервирования в схеме.

Рассматриваемое распределительное устройство напряжением 110 кВ объекта проектирования конструктивно выполнено закрытым (ЗРУ-110 кВ). Оно представляет собой кирпичное двухэтажное здание, расположенное на территории ПС-110/10 кВ «Карьерная».

На первом этаже расположены ячейки выключателей высокого напряжения 110 кВ, приводы разъединителей, а также измерительные трансформаторы тока. Кроме того, на первом этаже также сосредоточена вся защитно-коммутационная аппаратура вторичных цепей ЗРУ-110 кВ.

На втором этаже ЗРУ 110 кВ находятся сборные шины (жёсткая ошиновка), которая собрана по определённой схеме.

Установлено, что в исходной схеме соединений нормального режима РУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» применяется схема «Двух рабочих систем сборных шин, секционируемых выключателем, с применением обходной системы сборных шин».

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

Обходная система сборных шин в РУ-110 кВ применяется для ремонта одной из рабочих секций сборных шин, без отключения потребителей.

Известно, что данная схема РУ 110 кВ обеспечивает бесперебойное питание потребителей при выводе в ремонт оборудования одновременно с двух секций сборных шин 110 кВ, либо при аварийном режиме на двух секциях сборных шин 110 кВ одновременно. Таким образом, будет сохранена надёжность и работоспособность схемы и потребители смогут получить нужное количество электроэнергии.

Также обходная секция сборных шин РУ-110 кВ используется при транзите мощности, позволяя контролировать и распределять электроэнергию по требуемым направлениям.

При этом, с целью создания требуемого резерва в системе, применяется раздельная работа двух рабочих секций сборных шин: часть потребителей подключена и питается от одной секции сборных шин, часть – от второй. Секционный выключатель в нормальном режиме работы отключён, обеспечивая раздельный режим работы всей системы РУ-110 кВ.

В РУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная», «установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (графический лист 1):

- выключатели высокого напряжения марки ВР110НСМ со встроенными трансформаторами тока (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»);
- разъединители марки РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1 (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»);
- ограничители перенапряжения ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1 (производитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»)» [2];
- измерительные трансформатор напряжения марки НАМИ-110.

В схеме РУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» «применяется раздельный режим работы указанных фидеров 110 кВ с наличием резервирования на стороне 110 кВ подстанции» [19].

Следующим основным элементом структурной схемы ПС-110/10 кВ «Карьерная» являются силовые трансформаторы 110/10 кВ.

Они получают питание от рабочих секций сборных шин РУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Два силовых трансформатора марки ТДН-10000/110 работают параллельно (каждый на свою нагрузку) и питаются каждый от своей рабочей секции сборных шин РУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Оба силовые трансформатора на понизительной подстанции переменного напряжения ПС-110/10 кВ «Карьерная» на данный момент находятся в рабочем исправном состоянии и периодически проходили регламентные текущие и капитальные ремонты (они введены в эксплуатацию вместе с подстанцией в 2012 году). Указанные трансформаторы производства ОАО «Тольяттинский трансформаторный завод».

Следующим основным элементом ПС-110/10 кВ «Карьерная» является распределительное устройство низшего напряжения 10 кВ (РУ 10 кВ).

В исходной схеме ПС-110/10 кВ «Карьерная» РУ 10 кВ выполнено комплектным с применением ячеек наружной установки типа КРУН производственной единой серии К-59.

Таким образом, РУ-10 кВ является распределительным устройством низшего напряжения подстанции (РУ НН), выполняющим роль приёма и распределения электроэнергии между потребителями на напряжении 10 кВ.

«В схеме РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная», предусмотрено раздельное питание двух секций сборных шин по радиальной схеме электроснабжения с применением секционированной схемы с резервированием (используется секционный выключатель)» [12].

«При этом данный секционный выключатель в РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» в нормальном режиме работы отключен, то есть в схеме предусмотрена раздельная работа системы сборных шин напряжением 10 кВ» [13].

«На отходящих линиях в РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения ПС-110/10 кВ «Карьерная» установлены следующие защитные и коммутационные аппараты:

- выключатели высокого напряжения марки ВРС-10 (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»),
- ограничители перенапряжения марки ОПНп-10/6,9/10/500 УХЛ1 (производитель» [11] – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»),
- измерительные трансформаторы тока марки ТПОЛ-10,
- измерительные трансформаторы напряжения марки НТМИ-10.

«Для обеспечения собственных нужд, ПС-110/10 кВ «Карьерная» установлены два трансформатора собственных нужд (далее – ТСН)» [9] марки ТМ-25/10. От них получают питания цепи собственных нужд, включающие автоматику, телеизмерения, сигнализацию, а также освещение территории и здания подстанции, освещение диспетчерской, цепи управления электроснабжением подстанции. ТСН были установлены на ПС-110/10 кВ «Карьерная» в 2012 году вместе с введением в эксплуатацию подстанции. Система СН подстанции выполнена с использованием гибких и жёстких шинопроводов марки ШАТ различных сечений.

Для питания основных потребителей ПС-110/10 кВ «Карьерная» в «РУ-10 кВ предусмотрены следующие ячейки, приведённые далее. От первой секции сборных шин РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» получают питание следующие потребители (согласно диспетчерских наименований)» [20]:

- ячейка 2 – «Зарафшан Промышленный-1»;
- ячейка 3 – «Микрорайон 11-1»;
- ячейка 4 – «Резерв-1»;
- ячейка 5 – «Микрорайон 4-1»;
- ячейка 6 – «Микрорайон 7-1».

«От второй секции сборных шин РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» получают питание следующие потребители (согласно диспетчерских наименований)» [20]:

- ячейка 9 – «Микрорайон 7-2»;
- ячейка 10 – «Микрорайон 4-2»;
- ячейка 11 – «Резерв-2»;
- ячейка 12 – «Зарафшан Промышленный-2»;
- ячейка 13 – «Микрорайон 11-2».

Технические данные нагрузки потребителей подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная», представлены в таблице 1.

Кроме того, так как ПС-110/10 кВ «Карьерная» – узловая, следовательно, для дальнейшего расчёта нагрузок следует привести также и максимальные мощности транзита (таблица 1).

Таблица 1 – Технические данные нагрузки потребителей и максимальные транзитные мощности ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Секция шин РУ-10 кВ	Номер ячейки	Наименование присоединения	P _м , кВт
I СШ	2	Зарафшан Промышленный-1	800
	3	Микрорайон 11-1	1800
	4	Резерв-1	-
	5	Микрорайон 4-1	1000
	6	Микрорайон 7-1	800
Всего по I секции шин РУ-10 кВ			4400
II СШ	9	Микрорайон 7-2	800
	10	Микрорайон 4-2	1000
	11	Резерв-2	-
	12	Зарафшан Промышленный-2	800
	13	Микрорайон 11-2	1800
Всего по II секции шин РУ-10 кВ			4400
Всего по ПС-110/10 кВ «Карьерная»			8800
Транзит через ПС-110/10 кВ «Карьерная»			12000
Всего по ПС-110/10 кВ «Карьерная» с учётом транзита			20800

Таким образом, в работе было приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений ПС-110/10 кВ «Карьерная», с анализом технических данных нагрузки потребителей и транзитных мощностей подстанции.

Исходная «схема электрических соединений ПС-110/10 кВ «Карьерная» приведена в работе на графическом листе 1» [18].

1.2 Требования нормативных документов к понизительным подстанциям

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;
 - ремонтпригодность 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.

Принципы резервирования потребителей в зависимости от категории надёжности основаны на обеспечении каждого потребителя минимально необходимым числом источников питания.

Для 1 и 2 категории их должно быть два, для третьей категории надёжности достаточно применение одного источника.

При этом особая группа первой категории предусматривает наличие резервирования с использованием третьего источника. Данные принципы являются основными при выборе источника и схемы питания.

При этом также регламентируется время перерыва в электроснабжении: для особой и первой категории оно должно быть не больше, чем время на автоматическое включение резерва, для второй категории – не более, чем включение резервного питания (допускается ручное неавтоматическое включение), а для третьей категории перерыв в электроснабжении должен составлять не более суток [7].

Принцип резервирования в схеме питания потребителей соответствующей категории надёжности должен быть внедрён в принципиальной однолинейной схеме на объекте исследования согласно [10].

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

Кроме того, к установке в распределительных устройствах трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы в последние годы рекомендованы новейшие разработки коммутационной и защитной аппаратуры, имеющие повышенные показатели надёжности, экономичности, запаса ресурса и безопасности.

Также при разработке схемных решений следует учесть критерии по электробезопасности. В таких случаях используются только изолированные проводники (кабельные линии, провода СИП и другие аналогичные разработки проводникового материала).

Все приведённые требования должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций на объекте проектирования.

1.3 Обоснование предложений по реконструкции подстанции

Исходя из требований и норм, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима, установлено, что на объекте исследования все схемы надёжные, поэтому не требуют дополнительных мероприятий по капитальной реконструкции путём их замены.

Также в результате анализа установлено, что ПС-110/10 кВ «Карьерная» была введена в эксплуатацию в 2012 году, следовательно, всё оборудование, установленное в её распределительных устройствах, является новым и современным, поэтому не требует замены.

Однако к РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» планируется дополнительное подключение промышленных потребителей карьера и завода «Дропзавод», которые территориально расположены в пригороде г. Зарафшан.

Подключение данных потребителей планируется осуществить с помощью двух линий с мощностью нагрузки по 1000 Вт каждая.

В работе предложено подключить их на незанятые ячейки «Резерв-1» и «Резерв-2».

Такая реконструкция не влечёт за собой больших капитальных затрат и технического ресурса.

Таким образом, установлено, что реконструкция схемы нормальных соединений ПС-110/10 кВ «Карьерная» будет осуществлена путём подключения новых потребителей «Дропзавод» на незанятые ячейки «Резерв-1» (первая СШ 10 кВ) и «Резерв-2» (вторая СШ 10 кВ).

Расположение новой линии 10 кВ (обозначена красным цветом) для питания новых потребителей карьера и завода «Дропзавод» к РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» (обозначена синим прямоугольником) на карте местности г. Зарафшан, представлено на рисунке 2.

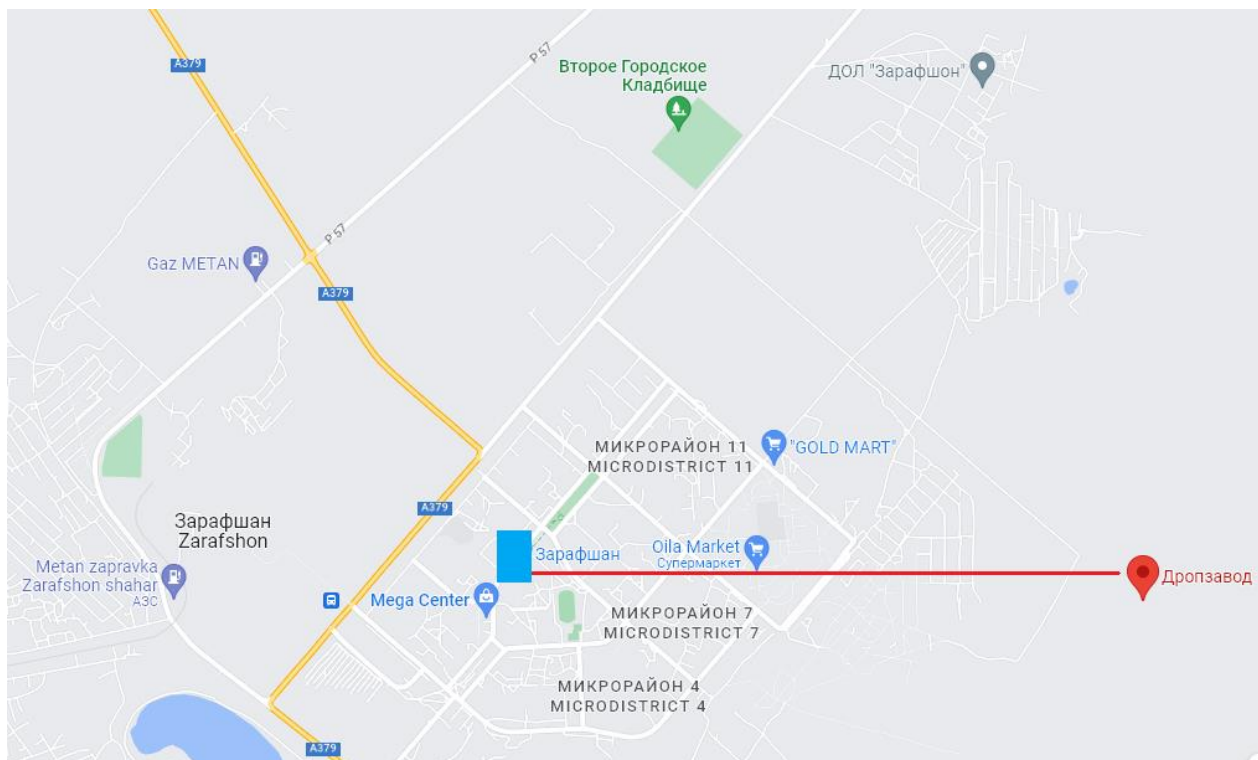


Рисунок 2 – Расположение новой линии 10 кВ для питания новых потребителей карьера и завода «Дропзавод» к РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» на карте местности г. Зарафшан

Исходя из этого, для новых потребителей в работе необходимо рассчитать электрические нагрузки, на основании которых выбрать проводники (линии и шины), а также электрические аппараты.

Кроме того, в работе, для подтверждения работоспособности реконструированной схемы электрических соединений, а также комплексного обоснования принятых решений по модернизации основного оборудования ПС-110/10 кВ «Карьерная», 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 ПС-110/10 кВ «Карьерная» проводников питающей воздушной линии 110 кВ и отходящих линий 10 кВ, а также сборных шин 110 кВ и 10 кВ;
 - проверить коммутационную и защитную аппаратуру распределительных устройств 110 кВ и 10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная»;
 - рассчитать уставки релейной защиты и автоматики всех присоединений (линий) и трансформаторов подстанции.

Таким образом, далее в работе необходимо решить комплексную задачу по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима ПС-110/10 кВ «Карьерная», путём подключения новых потребителей, с учётом приведённых дополнительных аспектов.

Предложенные мероприятия реализуются в работе далее и подтверждаются расчётным путём.

Выводы по разделу.

В работе было приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений ПС-110/10 кВ «Карьерная», с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей и транзитных мощностей данной понизительной подстанции.

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

Указано, что все приведённые требования приведённых нормативных документов должны быть учтены при дальнейшей реализации рекомендаций по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима объекта исследования.

На основании полученных аналитических данных проведённого анализа, установлено, что в работе рекомендуется внедрить предложенные мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима ПС-110/10 кВ «Карьерная», путём подключения новых потребителей «Дропзавод» на незанятые ячейки «Резерв-1» и «Резерв-2» мощностью по 1000 кВт на каждую ячейку.

Установлено, что в результате внедрения предложенных мероприятий по реконструкции объекта исследования, в работе необходимо выбрать и проверить защитные и коммутационные аппараты для установки в данных ячейках, а также проводники, связанные с данными ячейками (провода воздушных линий, отходящие к потребителям, а также шины распределительного устройства 10 кВ, применяемые в ячейках).

Кроме того, установлено, что в связи с изменившейся нагрузкой потребителей, на ПС-110/10 кВ «Карьерная», необходимо проверить силовые трансформаторы на перегрузочную способность, выбрать и проверить все электрические аппараты РУ-110 кВ и РУ-10 кВ, а также проводники (питающую воздушную линию 110 кВ, отходящие воздушные линии 10 кВ и сечения шин в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ).

Практическое обоснование внедрения предложенных изменений в схему электрических соединений ПС-110/10 кВ «Карьерная» осуществляются в работе далее на основании проведения соответствующих расчётов.

2 Проектирование системы электроснабжения подстанции

2.1 Определение расчётных электрических нагрузок

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

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

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

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

$$P_{пр} = K_з \cdot P_{м.}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $P_{м}$ – максимальная активная нагрузка присоединений потребителей напряжением 10 кВ электрической части ПС-110/10 кВ «Карьерная», кВт (по данным энергосистемы);

$K_з$ – коэффициент загрузки потребителей напряжением 10 кВ электрической части ПС-110/10 кВ «Карьерная», о.е. [6].

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

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

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

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

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

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

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

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

На основании известных выражений (1) – (4) для расчёта электрических нагрузок, проводится практический расчёт активной, реактивной, полной нагрузок, а также расчётного тока нагрузки нормального режима, для всех одиночных присоединений потребителей ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Таким образом, проводится расчёт нагрузки одиночных присоединений подстанции на примере присоединения одиночных потребителей «Микрорайон 11-1» ПС-110/10 кВ «Карьерная».

По условию (1) расчётная активная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «Микрорайон 11-1», получающий питание от ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$P_{np} = 1800 \cdot 1 = 1800 \text{ кВт.}$$

По условию (2) расчётная реактивная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «Микрорайон 11-1» ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$Q_{np} = 1800 \cdot 0,4 = 720 \text{ квар.}$$

По условию (3) расчётная полная нагрузка первого присоединения одиночных потребителей «Микрорайон 11-1» ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$S_{np} = \sqrt{1800^2 + 720^2} = 1938,7 \text{ кВА.}$$

По условию (4) расчётное значение тока нагрузки нормального режима «первого присоединения одиночных потребителей «Микрорайон 11-1» ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$I_{np} = \frac{1938,7}{\sqrt{3} \cdot 6} = 111,9 \text{ А.}$$

Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных присоединений потребителей напряжением 10 кВ понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная» с приведением результатов расчёта в форме таблицы 2» [7].

Также в таблице 2 расчёт суммарной «нагрузки секций сборных шин 10 кВ и всей подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная» проводится с учётом коэффициента одновременности максимума нагрузки согласно» [14].

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

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

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

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

« K_0 – значение коэффициента одновременности максимумов нагрузки на шинах» [14] РУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная». С вероятностью не менее 95% $K_0 = 0,8$ [14].

Значение расчётной реактивной нагрузки секций сборных шин РУ-10 кВ и всей электрической части подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная» [11]:

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

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

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

Значение расчётной полной нагрузки секций сборных шин РУ-10 кВ и всей реконструируемой электрической части ПС-110/10 кВ «Карьерная» в целом [11]:

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

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

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

Также в таблице 2 проведён расчёт нагрузок для двух транзитных линий реконструируемой и модернизируемой ПС-110/10 кВ «Карьерная» по выражениям (1) – (5) с учётом номинального напряжения 110 кВ, на котором данный транзит мощности осуществляется согласно схемы электрических соединений подстанции:

- транзит – 1 (к Т1 ТП-110/35/10 кВ «Кумколь»);
- транзит – 2 (к Т2 ТП-110/35/10 кВ «Кумколь»).

Согласно исходным техническим данным, на каждое транзитное присоединение (линию) ПС-110/10 кВ «Карьерная», приходится половина транзитной нагрузки, следовательно, для каждого из двух транзитных одиночных присоединений:

$$P_{пр.тр} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{м.тр}}{2}. \quad (9)$$

Результаты расчёта заносятся в таблицу 2.

Таким образом, транзитная активная нагрузка для каждой транзитной линии одиночных транзитных присоединений (линий) 110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» по условию (9):

$$P_{пр.тр} = \frac{12000}{2} = 6000 \text{ кВт}.$$

Результаты нагрузок транзитных присоединений 110 кВ используются в работе далее для выбора сечения проводников и электрических аппаратов

транзитных присоединений (на выбор трансформатора на ПС-110/10 кВ «Карьерная», согласно схеме, она не влияет).

Данный аспект необходимо также учесть в работе далее.

Результаты расчёта электрических нагрузок ПС-110/10 кВ «Карьерная» с учётом транзита мощности и подключения новых потребителей напряжением 10 кВ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок ПС-110/10 кВ «Карьерная» с учётом транзита мощности и подключения новых потребителей напряжением 10 кВ

Секция шин/номер ячейки	Наименование присоединения	$P_{пр.}$, кВт	$Q_{пр.}$, квар	$S_{пр.}$, кВА	$I_{пр.}$, А
Нагрузка подстанции (10 кВ)					
I/2	Зарафшан Промышленный-1	800,0	320,0	861,6	49,8
I/3	Микрорайон 11-1	1800,0	720,0	1938,7	111,9
I/4	Дропзавод-1	1000,0	400,0	1077,0	62,3
I/5	Микрорайон 4-1	1000,0	400,0	1077,0	62,3
I/6	Микрорайон 7-1	800,0	320,0	861,6	49,8
Всего нагрузки СШ I 10 кВ ($K_o=0,8$)		4320,0	1728,0	4652,8	268,9
II/9	Микрорайон 7-2	800,0	320,0	861,6	49,8
II/10	Микрорайон 4-2	1000,0	400,0	1077,0	62,3
II/11	Дропзавод-2	1000,0	400,0	1077,0	62,3
II/12	Зарафшан Промышленный-2	800,0	320,0	861,6	49,8
II/13	Микрорайон 11-2	1800,0	720,0	1938,7	111,9
Всего нагрузки СШ II 10 кВ ($K_o=0,8$)		4320,0	1728,0	4652,8	268,9
Всего нагрузки ПС-110/10 кВ «Карьерная» ($K_o=0,8$)		8640,0	3456,0	9305,6	537,9
Транзитная нагрузка (110 кВ)					
Транзит через ПС-110/10 кВ «Карьерная» (к Т1 ТП-110/35/10 кВ «Кумколь»)		6000,0	2400,0	6462,2	33,9
Транзит через ПС-110/10 кВ «Карьерная» (к Т2 ТП-110/35/10 кВ «Кумколь»)		6000,0	2400,0	6462,2	33,9
Всего транзит через ПС-110/10 кВ «Карьерная» ($K_o=0,8$)		9600,0	3840,0	10340,0	54,3
Суммарная нагрузка подстанции с учётом транзита					
Всего по ПС-110/10 кВ «Карьерная» с учётом транзита ($K_o=0,8$)		18240,0	7296,0	19645,1	-

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей и транзитных линий ПС-110/10 кВ «Карьерная», используются далее.

2.2 Проверочный расчёт силовых трансформаторов подстанции

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения ПС-110/10 кВ «Карьерная» установлены два силовых трансформатора ТДН-10000/110.

Оба силовые трансформатора на понизительной подстанции переменного напряжения ПС-110/10 кВ «Карьерная» находятся в рабочем исправном состоянии и периодически проходили регламентные текущие и капитальные ремонты.

В работе требуется проверить их на нагрузочную и перегрузочную способность с учётом подключения новых потребителей, для чего используется суточный график нагрузок.

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

Расчётная мощность силового трансформатора для установки на подстанции, с учётом подключения новых потребителей, определяется по известной формуле [12]:

$$S_{\text{ном.т.р.}} = 0,7 \cdot S_{\text{max.ПС}}, \text{MVA}, \quad (10)$$

где $S_{\text{расч}} S_{\text{max.ПС}}$ – максимальное значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная» г. Зарафшан без учёта транзита мощности (таблица 2) $S_{\text{расч}}$.

По условию (10) для силовых трансформаторов, установленных на ПС-110/10 кВ «Карьерная» с учётом подключения новых потребителей:

$$S_{\text{ном.т}} = 0,7 \cdot 9305,6 = 6513,9 \text{ кВА}.$$

При проверке проводится сравнение номинальной мощности силового трансформатора и полученного значения расчётной мощности трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная», с учётом подключения новых потребителей:

$$S_{\text{ном.т.}} \geq S_{\text{ном.т.р.}}, \text{MBA}, \quad (11)$$

Таким образом, предварительные условия проверки силовых трансформаторов, установленных на ПС-110/10 кВ «Карьерная», с учётом подключения новых потребителей, по условию (11), выполняются:

$$S_{\text{ном.т.}} = 10000 \text{ кВА} \geq S_{\text{ном.т.р.}} = 6513,9 \text{ кВА}.$$

Исходя «из результатов предварительной проверки, можно сделать вывод, что силовые трансформаторы марки ТДН-10000/110, установленные на ПС-110/10 кВ» [7] «Карьерная», подходят для установки на данной подстанции с учётом подключения новых потребителей.

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

«Для проверки трансформаторов марки ТДН-10000/110, установленных на подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная» на загрузочную и перегрузочную способность, в работе используется упрощенный суточный трёхступенчатый график нагрузок активной нагрузки потребителей подстанции» [9].

Как известно, на суточных графиках нагрузки есть участки, соответствующие допустимым нагрузкам и перегрузкам.

Упрощенный суточный график нагрузок силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная» представлен на рисунке 3.

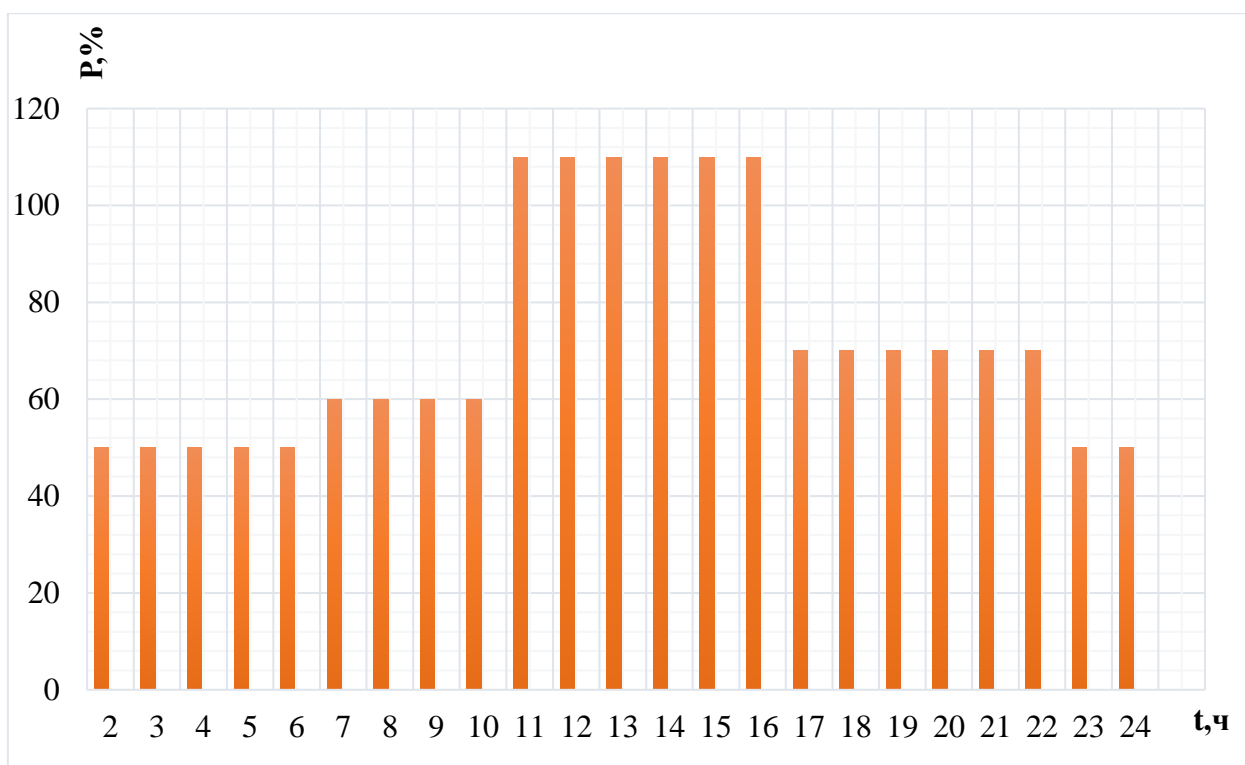


Рисунок 3 – Упрощенный суточный график нагрузок силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Проводится анализ упрощенного суточного графика нагрузок силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная» с приведением полученных результатов в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Результаты анализа суточного графика нагрузок силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Номер ступени суточного графика нагрузки	Активная нагрузка ступени, P, %	Длительность ступени, ч	Вывод по нагрузке ступени
1	50,0	5	недогрузка
2	60,0	4	недогрузка
3	110,0	6	перегрузка
4	70,0	6	нормальная нагрузка
5	50,0	3	недогрузка
Всего по ПС-110/10 кВ «Карьерная»		24	нормальная нагрузка – 6 ч, недогрузка – 12 ч, перегрузка – 6 ч

Далее проводятся соответствующие расчёты для проверки силовых трансформаторов, установленных на ПС-110/10 кВ «Карьерная», по графику нагрузки.

Условия проверки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» на перегрузочную способность, согласно суточному графику нагрузок [12]:

$$K_2 \leq K_{2\text{дон}}, \quad (12)$$

где K_2 – расчетный коэффициент аварийной перегрузки суточного графика нагрузки трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная»;
 $K_{2\text{дон}}$ – нормируемый коэффициент допустимой аварийной перегрузки суточного графика нагрузки трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная» (по справочным диаграммам [14]).

В конечном итоге, с учётом допустимых коэффициентов и мощности (расчётной и номинальной) трансформаторов, установленных на ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{ном.Т}} \cdot K_{2\text{дон}}. \quad (13)$$

Исходный суточный график нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» задан для значений активной нагрузки потребителей (рисунок 3).

«Исходя из фактического значения максимальных значений активной мощности подстанции, с использованием коэффициента активной мощности на шинах ПС-110/10 кВ «Карьерная» (с учётом компенсации реактивной мощности), рассчитывается значение максимального значения полной мощности суточного графика, которая соответствует максимальной ступени суточного графика нагрузки» [13]:

$$S_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{\cos \varphi}, \text{ MVA}. \quad (14)$$

Для трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» максимальное значение полной мощности по суточному графику нагрузки по (14):

$$S_{\max} = \frac{8,64}{0,93} = 9,29 \text{ МВА.}$$

Для всех остальных ступеней суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» используется следующая пропорция с одним неизвестным:

$$9,29 \text{ МВА} = 100 \% .$$
$$S_{cm}, \text{ МВА} = x, \% .$$

Исходя из соотношения пропорции, определяется пропорциональная нагрузка ступеней графика нагрузок ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Для первой и пятой ступеней суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» по (14):

$$S_{1,5cm.} = \frac{9,29 \cdot 50}{100} \approx 4,65 \text{ МВА.}$$

Для второй ступени суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» по (14):

$$S_{2cm.} = \frac{9,29 \cdot 60}{100} \approx 5,57 \text{ МВА.}$$

Для третьей ступени суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» по (14):

$$S_{3см.} = \frac{9,29 \cdot 110}{100} \approx 10,22 \text{ МВА.}$$

Для четвёртой ступени суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» по (14):

$$S_{4см.} = \frac{9,29 \cdot 70}{100} \approx 6,5 \text{ МВА.}$$

Рассчитанный график полной нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная», с указанием ступени и времени перегрузки, представлен на рисунке 4.

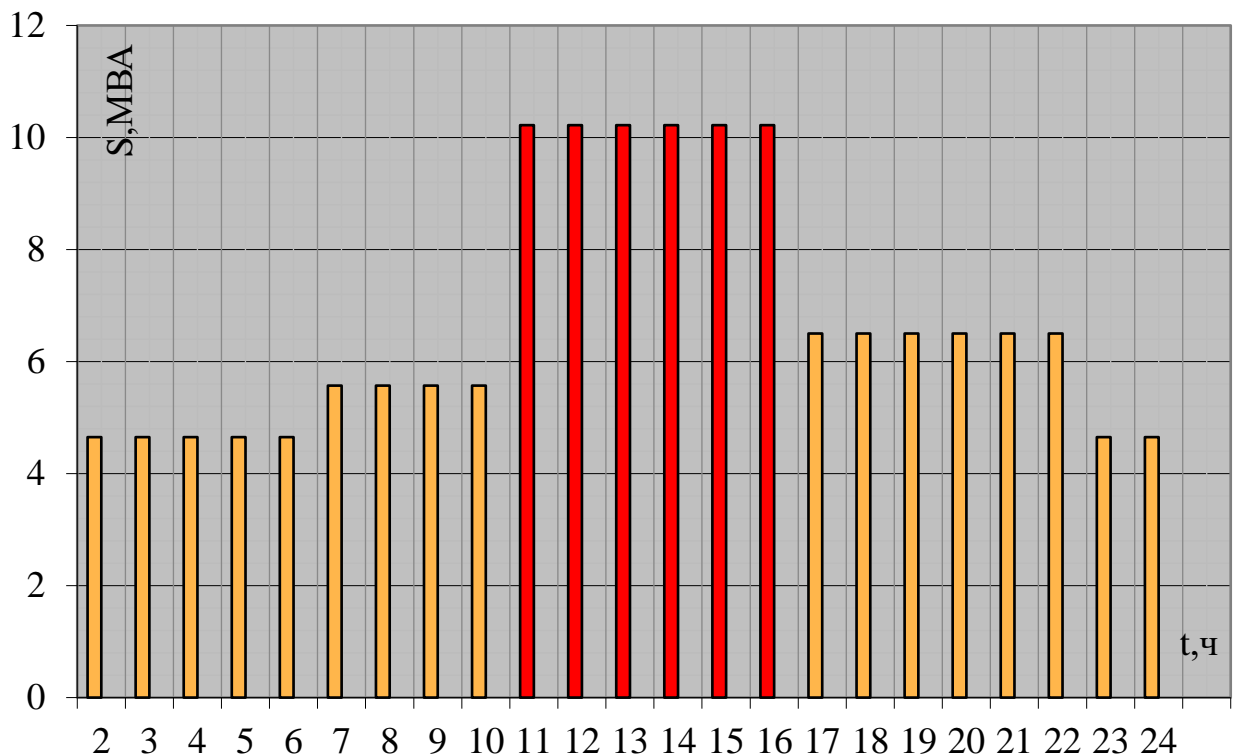


Рисунок 4 – Рассчитанный график полной нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная», с указанием ступени и времени перегрузки (показана красным цветом)

Осуществляется преобразование суточного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» в эквивалентный график нагрузки.

Для этой цели определяются коэффициенты нормальной нагрузки и допустимой перегрузки силовых трансформаторов подстанции.

Значение коэффициента начальной нагрузки K_1 эквивалентного графика нагрузки силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» определяется так:

$$K_1 = \frac{1}{S_{ном}} \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}, o.e. \quad (15)$$

По условию (15) для силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$K_1 = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{4,65^2 \cdot 8 + 5,57^2 \cdot 4 + 6,5^2 \cdot 6}{18}} \approx 0,55.$$

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

$$K'_2 = \frac{1}{S_{ном}} \sqrt{\frac{(S'_1)^2 \Delta h_1 + (S'_2)^2 \Delta h_2 + \dots + (S'_p)^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_p}}, o.e. \quad (16)$$

По условию (16) для силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$K'_2 = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{10,22^2 \cdot 6}{6}} \approx 1,02.$$

По справочным данным определяется коэффициент допустимых аварийных перегрузок силового трансформатора подстанции при системе охлаждения типа Д, $\theta_{охл} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, $K_1 = 0,55$, $h = 6 \text{ ч}$ [12] определяется значение $K_{2\text{дон}} \approx 1,2$, что превышает значение расчётного коэффициента фактической перегрузки силовых трансформаторов $K_2 = 1,02$.

Условие проверки соблюдается.

Проверка условия (13) для силовых трансформаторов подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$S_{\max} = 10,22 \text{ MVA} \leq 10 \cdot 1,25 = 12,5 \text{ MVA}.$$

Условие проверки соблюдается.

Следовательно, оба силовых трансформатора марки ТДН-10000/110, установленные на ПС-110/10 кВ «Карьерная», «удовлетворяют условиям всех требуемых проверок, согласно данным суточного графика нагрузки подстанции.

По этой причине они не нуждаются в замене в связи с планируемыми мероприятиями по реконструкции» [1] схемы подстанции в связи с вводом в эксплуатацию новых потребителей.

2.3 Выбор и проверка проводников подстанции

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

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

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

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

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (17)$$

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

Для проверки выбранного сечения проводников воздушных линий на понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная», необходимо рассчитать их максимальный ток послеаварийного режима работы с учётом условий резервирования в схеме.

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

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} = 1,4 \cdot I_p. \quad (18)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка воздушной линии, кВА;

I_p – расчётный ток нормального режима воздушной линии электропередачи (таблица 2);

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

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

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (19)$$

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

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

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (20)$$

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

Кроме того, «по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также» [18] короны (для ВЛ-110 кВ).

Данное условие проверяется по следующему соотношению:

$$F_{\text{ст}} \geq F_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (21)$$

«Значит, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом данных таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3, минимальные сечения проводов воздушных линий, выполненные с применением стандартных проводников марки АС:

- для проводов воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ – не менее 95 мм²;
- для проводов воздушных линий электропередачи напряжением 6 (10) кВ – не менее 25 мм²» [10].

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится

проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Питание ПС-110/10 кВ «Карьерная» от источника питания г. Зарафшан, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки АС-150/7,84.

«Сечение питающей воздушной линии напряжением 110 кВ выбирается, исходя из номинальной мощности силовых трансформаторов, которые от неё питаются» [16].

Как было указано ранее, на ПС-110/10 кВ «Карьерная» установлены два силовых трансформатора марки ТДН-10000/110.

«В связи с этим, ток нормального режима питающей ВЛ-110 кВ для питания каждого трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная» будет определяться по условию (8)» [17]:

$$I_p = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 52,5 \text{ А.}$$

«Расчётное сечение питающей ВЛ-110 кВ понизительной подстанции переменного напряжения 110/10 кВ» [3] «Карьерная» по условию экономической плотности тока:

$$F_s = \frac{52,5}{1,1} = 47,7 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, установлено, что сечение провода на питающей ВЛ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» с применением провода марки АС-150/7,84, соответствует условиям выбора и совпадает с фактическими сечениями проводов питающей линии 110 кВ, значительно превышая установленные минимальные стандартные значения (95 мм²).

Так как в работе проводится проверочный расчёт провода данной линии, сечение провода АС-150/7,84 принимается за основу.

Проверка предварительно выбранного провода воздушной линии по току нормального режима выполняется:

$$450 \text{ A} \geq 52,5 \text{ A}.$$

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

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 52,5 \approx 73,5 \text{ A}.$$

Проверка провода ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная» по максимальному току ПАВ режима выполняется:

$$450 \text{ A} \geq 73,5 \text{ A}.$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная» по условию коронирующего разряда и механической прочности по гололёду и ветру (климатические условия) также выполняется» [14]:

$$150 \text{ мм}^2 \geq 95 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, в работе путём проведения соответствующих расчётов и проверок установлено, что сечение провода на питающей ВЛ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» с применением провода марки АС-150/7,84,

соответствует условиям выбора и совпадает с фактическими сечениями проводов питающей линии 110 кВ в реальных условиях.

Выбор и проверка сечений проводов отходящих линий напряжением 10 кВ, а также транзитных линий, применяемых на ПС-110/10 кВ «Карьерная», выполнены по аналогичной методике с приведением полученных результатов в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора и проверочного расчёта проводников питающей и распределительных воздушных линий, а также транзитных линий, на ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Линия	I_p , А	F_{Σ} , мм ²	$F_{ст}$, мм ²	$I_{p, max}$, А	Марка провода	$I_{доп.}$, А
Питающая ВЛ-110 кВ						
ВЛ-110 кВ-Т1	52,5	47,7	150	73,5	АС-150/7,84	450
ВЛ-110 кВ-Т2	52,5	47,7	150	73,5	АС-150/7,84	450
Распределительные ВЛ-10 кВ						
СШ I 10 кВ						
РУ 10 кВ-Зарафшан Промышленный-1	49,8	45,3	50	69,7	АС-50/8	210
РУ 10 кВ-Микрорайон 11-1	111,9	101,7	120	156,7	АС-120/19	390
РУ 10 кВ-Дропзавод-1	62,3	56,8	50	87,2	АС-50/8	210
РУ 10 кВ-Микрорайон 4-1	62,3	56,8	50	87,2	АС-50/8	210
РУ 10 кВ-Микрорайон 7-1	49,8	45,3	50	69,7	АС-50/8	210
СШ II 10 кВ						
РУ 10 кВ-Микрорайон 7-2	49,8	45,3	50	69,7	АС-50/8	210
РУ 10 кВ-Микрорайон 4-2	62,3	56,8	50	87,2	АС-50/8	210
РУ 10 кВ-Дропзавод-2	62,3	56,8	50	87,2	АС-50/8	210
РУ 10 кВ-Зарафшан Промышленный-2	49,8	45,3	50	69,7	АС-50/8	210
РУ 10 кВ-Микрорайон 11-2	111,9	101,7	120	156,7	АС-120/19	390
Транзитные ВЛ-110 кВ						
ВЛ-110 кВ – Т1 ТП-110/35/10 кВ «Кумколь»	33,9	30,8	150	47,5	АС-150/7,84	450
ВЛ-110 кВ - Т2 ТП-110/35/10 кВ «Кумколь»	33,9	30,8	150	47,5	АС-150/7,84	450

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

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

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

- в ЗРУ-110 кВ – основная жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки ШАТ и жёсткая ответвительная ошиновка марки ОЖ-СЭЩ;
- в КРУН-10 кВ – основная жёсткая ошиновка из сборных алюминиевых шин марки ШАТ и жёсткая ответвительная ошиновка марки ОЖ-СЭЩ.

Такие виды и типы ошиновки типичны для применения в соответствующих распределительных устройствах подстанций закрытого типа.

В работе для установки в ЗРУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» принимается основная жёсткая ошиновка: «сборные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, размер – 100×6 мм, три полосы (трёхполосные шины), допустимый ток $I_{don} = 2425$ А» [7].

Условие выбора шин установки в ЗРУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» выполняется:

$$2425 \text{ А} \geq 73,5 \text{ А.}$$

В качестве ответвительной жёсткой ошиновки (для присоединения электрических аппаратов трансформаторных вводов, отходящих линий к сборным шинам ЗРУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная», а также вводов 10 кВ к ТСН), принимается современная жёсткая ошиновка марки ОЖ-СЭЩ-110/2000 с $I_{don} = 2000$ А [7].

Условие проверки ответвительной жёсткой ошиновки в ЗРУ-110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» выполняется (с учётом того, что максимальный

рабочий ток трансформаторных вводов 10 кВ, с учётом условий резервирования, на объекте равен $I_m = 73,5$ А):

$$2000 \text{ А} \geq 73,5 \text{ А}.$$

Аналогично выбраны и проверены жёсткие сборные шины и ответвительная ошиновка для применения в КРУН-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» :

- основная жёсткая ошиновка: «сборные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, размер – 60×6 мм, две полосы (двухполосные шины), допустимый ток $I_{дон} = 1355$ А» [7];
- жёсткая ответвительная ошиновка марки ОЖКЧ-6/2000 с $I_{дон} = 2000$ А [7].

Все выбранные проводники на ПС-110/10 кВ «Карьерная» соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

2.4 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции

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

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ будут проверены уставки релейной защиты на надёжность срабатывания.

«Поэтому, так как номинальных ступеней напряжения в схеме объекта исследования две, на них проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы системы (режим трёхфазного КЗ), а также ток двухфазного КЗ, который принимается как минимальный ТКЗ.

Так как на ПС-110/10 кВ «Карьерная» установлены два одинаковые по номиналу и мощности силовые трансформаторы, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 10 кВ за ними будут также одинаковы (с допустимой погрешностью)» [10].

Значения токов КЗ в системе ПС-110/10 кВ «Карьерная» будут использованы при выборе и проверке нового оборудования распределительных устройств в работе далее.

Исходная расчётная «схема для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная» представлена на рисунке 5» [8].

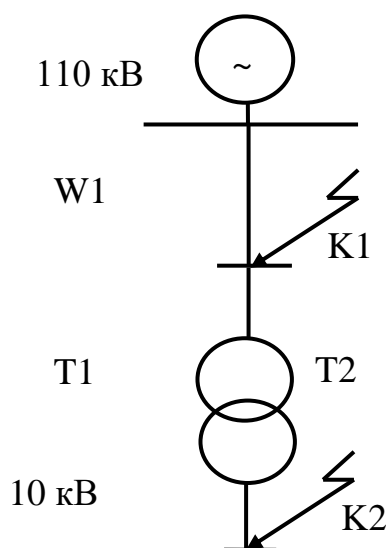


Рисунок 5 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

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

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

Составляется исходная «схема замещения по расчётной схеме электрической сети.

Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная» представлена на рисунке 6» [17].

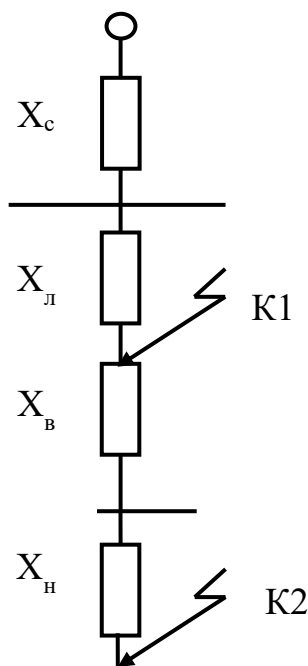


Рисунок 6 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная»

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

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 110 кВ.

Вторая ступень 10 кВ будет неосновной ступенью напряжения.

Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная», оставшегося в работе в послеаварийном режиме (при этом второй трансформатор подстанции отключён, что отображено в расчётной схеме и схеме замещения, а также учтено при расчётах далее) [12]:

$$S_{\bar{o}} = 10000 \text{ кВА} = 10 \text{ МВА}.$$

Базисные напряжения для двух ступеней трансформации схемы (110 кВ и 10 кВ) ПС-110/10 кВ «Карьерная» принимаются равными напряжениям на шинах подстанции в максимальном режиме работы. Они определены ниже с учётом данного факта.

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

$$U_{\bar{o}1} = 115 \text{ кВ}.$$

Базисное напряжение для ступени напряжения 10 кВ (основная ступень):

$$U_{\bar{o}2} = 10,5 \text{ кВ}.$$

Базисный ток на ПС-110/10 кВ «Карьерная» рассчитывается по известной формуле:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}}. \quad (22)$$

Базисный ток для двух ступеней трансформации схемы (110 кВ и 10 кВ) ПС-110/10 кВ «Карьерная» определён ниже по условию (22).

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

$$I_{\bar{o}1} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,05 \text{ кА}.$$

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

$$I_{61} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,52 \text{ кА.}$$

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

«Сопротивление энергосистемы определяется по формуле:

$$x_{c*} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}''}, \text{ o.e.}, \quad (23)$$

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

По условию (23):

$$x_{c*} = \frac{10}{500} = 0,02 \text{ o.e.}$$

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

$$x_{l*} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}, \text{ o.e.}, \quad (24)$$

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

L - суммарная длина ВЛ, км» [4].

Согласно условия (24), индуктивное значение сопротивления для питающей ВЛ-110 кВ:

$$x_{л*} = 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{10}{115^2} = 0,0018 \text{ о.е.}$$

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

Для обмотки ВН (110 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$X_{\sigma} = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.т.}} \quad (25)$$

Согласно условия (25):

$$X_{\sigma} = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 10}{100 \cdot 10} = 0,01 \text{ о.е.}$$

Для обмотки НН (10 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ПС-110/10 кВ «Карьерная» в результате ПАВ режима:

$$X_{н} = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.т.}} \quad (26)$$

Согласно условия (26):

$$X_{н} = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 10}{100 \cdot 10} = 0,18 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах [12]:

$$I'' = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_{\sigma} \quad (27)$$

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

«Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах:

$$x_{рез}^* = x_c^* + x_l^*, \text{ о.е.} \quad (28)$$

Согласно условия (28):

$$x_{рез}^* = 0,02 + 0,0018 = 0,0218.$$

Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (27)» [11]:

$$I''_{к1} = \frac{1}{0,0218} \cdot 0,05 = 2,29 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах:

$$x_{рез}^* = x_c^* + x_l^* + x_g^* + x_n^*, \text{ о.е.} \quad (29)$$

Согласно условия (29):

$$x_{рез*} = 0,02 + 0,0018 + 0,01 + 0,18 \approx 0,2118 \text{ о.е.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям» [11], в именованных единицах по (27):

$$I''_{к2} = \frac{1}{0,2118} \cdot 0,52 = 2,46 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётных точках схемы или начального значения аperiodической составляющей тока КЗ в максимальном режиме:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I''_{к}, \text{ кА,} \quad (30)$$

где $k_{уд}$ – ударный коэффициент» [12].

По условию (30) для расчётных точек схемы К1 и К2, значение ударных токов (начального значения аperiodической составляющей тока КЗ) в именованных единицах:

– в точке К1:

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

– в точке К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,46 = 4,87 \text{ кА.}$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА в работе далее:

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА.} \quad (31)$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА, по условию (31):

– в точке К1:

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,29 = 1,98 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,46 = 2,13 \text{ кА.}$$

«Все полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания в максимальном режиме, полученные в результате расчёта на шинах 110 кВ и 10 кВ» [16] в максимальном режиме работы ПС-110/10 кВ «Карьерная», представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта токов короткого замыкания на шинах 110 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Параметр	Расчётная точка КЗ	
	Точка К1	Точка К2
$I_K^{(3)}$, кА	2,29	2,46
$I_K^{(2)}$, кА	1,98	2,13
$i_{уд}$, кА	5,51	4,87

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

2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов

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 ПС-110/10 кВ «Карьерная».

На основании расчётов необходимо выбрать оборудование для установки в РУ-10 кВ для защиты и коммутации ячеек новых потребителей, а также проверить установленное оборудование на подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная».

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

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (32)$$

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

- по максимальному рабочему току:

$$I_{\text{раб.макс}} \leq I_n \quad (33)$$

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

– «проверка выключателя на симметричный ток отключения:

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

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

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

– проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ:

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

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

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

τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так:

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

где $t_{\text{з.мин}}$ – минимальное время действия релейной защиты, с;

$t_{\text{с.в}}$ – собственное время отключения выключателя, с;

– на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (37)$$

где $i_{np.c}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ;

i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя;

– проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (38)$$

где B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$;

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

t_T – время протекания тока термической устойчивости, с» [18].

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

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (39)$$

По приведённым выше условиям, с учётом рассчитанных параметров электрической сети 110 кВ и 10 кВ, далее в работе необходимо осуществить выбор выключателей высокого напряжения для их установки в соответствующих распределительных устройствах на ПС-110/10 кВ «Карьерная». Предварительно принимается для установки на объекте проектирования выключатель высокого напряжения вакуумный, нового образца и модификации, для установки в РУ 110 кВ, марки ВР110НСМ (завод-изготовитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»).

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

– высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели) – две единицы, служат для приёма электроэнергии от

энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции;

- высоковольтные выключатели секционного соединения (секционные выключатели) – одна единица, необходим для обеспечения резервирования в схеме РУ 110 кВ на подстанции, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 110 кВ (либо от обходной системы сборных шин 110 кВ на подстанции);
- высоковольтные выключатели транзитных линий (линейные выключатели) – две единицы, необходимы для обеспечения защиты и коммутации транзитных линий 110 кВ подстанции.

Результаты выбора и проверки выключателей для установки в РУ 110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная», представлены в работе в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки выключателей высокого напряжения для установки в РУ 110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Вводные выключатели: ВР110НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 73,5 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1600 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 2,29 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,29^2 \cdot 3 = 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Секционные выключатели: ВР110НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 73,5 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1600 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 2,29 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Выключатели транзитных линий: ВР110НСМ-20/1600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 47,5 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1600 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 2,29 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Для всех присоединений выбраны выключатели ВР110НСМ-20/1600 УХЛ1. Все выбранные выключатели для установки на вводных, секционном и транзитных соединениях в РУ 110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная», удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки.

Аналогично выбраны новые выключатели для установки в РУ 10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки выключателей высокого напряжения для установки в РУ 10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводные выключатели: ВРС-10-20/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 809,2 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 2,46 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,87 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,46^2 \cdot 3 =$ $= 18,2 \text{ кА}^2 \text{ с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2 \text{ с.}$
Секционные выключатели: ВРС-10-20/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 809,2 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 2,46 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,87 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,46^2 \cdot 3 =$ $= 18,2 \text{ кА}^2 \text{ с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2 \text{ с.}$
Линейные выключатели: ВРС-10-20/630 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 191,8 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 2,46 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,87 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,46^2 \cdot 3 =$ $= 18,2 \text{ кА}^2 \text{ с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2 \text{ с.}$

Все выбранные выключатели РУ 10 кВ удовлетворяют требуемым условиям.

Далее проводится выбор разъединителей для установки в РУ 110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная». Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках. В работе для установки в РУ 110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» выбирается разъединитель марки РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1 (завод-изготовитель - ООО «НТЭАЗ Электрик»). Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12].

Результаты выбора и проверки новых разъединителей для установки в РУ 110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная», представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в РУ 110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Вводные и секционный разъединители: РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 73,5 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,29^2 \cdot 3 =$ $= 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Разъединители транзитных линий: РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 47,5 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,29^2 \cdot 3 =$ $= 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Окончательно для установки в РУ 110 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» выбираются разъединители марки РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1, удовлетворяющие всем требованиям выбора и проверок.

В ячейках КРУН-10 кВ подстанции разъединители не устанавливаются, их заменяют втычные контакты.

Для установки в ПС-110/10 кВ «Карьерная» выбираются ограничители перенапряжения следующих типов и марок:

- для установки в РУ 110 кВ и на ВЛ-110 кВ – ОПН типа ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»);
- для установки в РУ 10 кВ и на линиях 10 кВ – ОПН типа ОПНп-10/6,9/10/500 УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»).

Результаты выбора и проверки ОПН для установки в РУ 110 кВ и РУ 10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная» представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора новых ОПН для установки в РУ 110 кВ и РУ 10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Сеть и линии 110 кВ: ОПН типа ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 73,5 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 450 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,51 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 80 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,29^2 \cdot 3 =$ $= 15,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 =$ $= 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Сеть и линии 10 кВ: ОПН типа ОПНп-10/6,9/10/500 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 191,8 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 500 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,87 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 80 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,46^2 \cdot 3 =$ $= 18,2 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 =$ $= 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

«Всё выбранное оборудование распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ проверено на термическую и электродинамическую стойкость к токам короткого замыкания, а также на условие соответствия максимальным рабочим токам сети, рассчитанным в работе» [10]. Установлено, что в результате проведения проверочных расчётов по выбору электрических аппаратов для установки в РУ-110 кВ и РУ 10 кВ

ПС-110/10 кВ «Карьерная», все выбранные аппараты отвечают условиям всех требуемых проверок. Следовательно, сделан вывод, что их можно использовать для установки в ПС-110/10 кВ «Карьерная» для защиты и коммутации электрических сетей.

Выводы по разделу.

В работе, для подтверждения работоспособности схемы электрических соединений ПС-110/10 кВ «Карьерная», обусловленной вводом в эксплуатацию ячеек с нагрузкой новых потребителей в РУ-10 кВ подстанции, проверена целесообразность установки на подстанции силовых трансформаторов марки ТДН-10000/110, с учётом их нагрузочной способности в нормальном режиме работы, а также допустимой перегрузки в послеаварийном режиме работы с учётом резервирования схемы.

Установлено, что силовые трансформаторы марки ТДН-10000/110 подстанции соответствуют нагрузочной и перегрузочной способности с учётом суточного графика нагрузки.

Определены значения расчётной электрической нагрузки присоединений, сборных шин и транзитных линий подстанции, а также токи трёхфазного и двухфазного короткого замыкания в максимальном режиме работы системы.

Проверочным путём обоснованы и подтверждены все сечения проводников воздушных линий напряжением 110 кВ и 10 кВ для их применения на ПС-110/10 кВ «Карьерная»: питающей (110 кВ), транзитных (110 кВ) и отходящих (10 кВ) воздушных линий ПС-110/10 кВ «Карьерная» (выбраны и проверены провода марки АС разных сечений).

Выбраны и проверены жёсткие сборные шины и ответвительная ошиновка для применения в КРУН-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

- основная жёсткая ошиновка: сборные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, размер – 60×6 мм, две полосы (двухполосные шины), допустимый ток $I_{don} = 1355$ А;
- жёсткая ответвительная ошиновка марки ОЖКЧ-6/2000, $I_{don} = 2000$ А.

Все выбранные проводники для установки на ПС-110/10 кВ «Карьерная» соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

Выбрано и проверено оборудования распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ на трансформаторной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

- в «РУ-110 кВ: выключатели высокого напряжения марки ВР110НСМ (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»), разъединители марки РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1 (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»), ограничители перенапряжения ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1 (производитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»);
- в РУ 10 кВ: выключатели высокого напряжения марки ВРС-10 (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»), разъединители марки РВ-10/630УХЛ2 (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»), ограничитель перенапряжения марки ОПНп-10/6,9/10/500 УХЛ1 (производитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»» [1].

Все выбранные электрические аппараты для установки в ЗРУ-110 кВ и в КРУН-10 кВ на ПС-110/10 кВ «Карьерная» соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции существующей схемы электрических соединений нормального режима ПС-110/10 кВ «Карьерная» в связи с вводом в эксплуатацию ячеек новых потребителей в РУ-10 кВ.

3 Расчёт релейной защиты силовых трансформаторов подстанции

3.1 Расчёт первичных токов и коэффициентов трансформации трансформаторов тока

Далее в работе выбираются уставки РЗА для защиты силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Для данной цели на первом этапе необходимо провести расчёт максимальных рабочих токов, а также выбрать первичный ток трансформатора тока и, с учётом этого, провести расчёт «коэффициента трансформации». Известно, что максимальный рабочий ток – это длительный ток с учетом вероятности дополнительного подключения нагрузки с учётом резервирования.

В схеме ПС-110/10 кВ «Карьерная», на сторонах 110 кВ и 10 кВ, предусмотрено взаимное резервирование» [10] трансформаторов.

Исходя из этого, известно выражение для расчёта максимальный рабочий ток в схеме с резервированием трансформаторов [13,14]:

$$I_{\text{раб.макс}} = I_{\text{раб.макс}(н)} + I_{\text{раб.макс}(д)}, \quad (40)$$

где « $I_{\text{раб.макс}(н)}$ – рабочий максимальный ток нормального режима силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная», А;

$I_{\text{раб.макс}(д)}$ – рабочий максимальный ток дополнительной нагрузки (второго трансформатора, вышедшего из работы в аварийном режиме), А» [13].

«При этом:

$$I_{\text{раб.макс}(н)} = K_o \cdot K_z I_{\text{max}}, \quad (41)$$

где I_{max} – максимальный расчётный ток силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная» в нормальном режиме работы (рассчитан в

работе ранее);

K_o и K_3 – соответственно коэффициент одновременности и коэффициент загрузки» [14].

С учётом схемы с резервированием, принимается равенство основной и дополнительной нагрузки для трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» [13]:

$$I_{\text{раб.макс}(н)} = I_{\text{раб.макс}(д)}. \quad (42)$$

Проводится определение максимального рабочего тока силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная».

На стороне ВН (110 кВ):

$$I_{\text{раб.макс}(н)} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 73,5 = 52,9 \text{ А.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 52,9 + 52,9 = 105,8 \text{ А.}$$

На стороне НН (10 кВ):

$$I_{\text{раб.макс}(н)} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 809,2 = 582,7 \text{ А.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 582,7 + 582,7 = 1165,4 \text{ А.}$$

Кроме того, для корректного «расчёта уставок РЗА на первом этапе необходимо определить:

- первичный ток измерительных трансформаторов тока (далее – ТТ). При этом вторичный ток ТТ принимается равным 5 А на всех присоединениях схемы;
- коэффициент трансформации ТТ, определяемый отношением первичного и вторичного номинальных токов ТТ» [7].

Данные параметры определяются, исходя из значения максимальных рабочих токов. На сторонах ВН и НН трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» принимается соединение ТТ и реле в схему «неполная звезда», имеющая ряд преимуществ по сравнению с другими схемами соединения ТТ и реле.

Исходя из этого, полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ, используемых для дальнейшего выбора уставок РЗА силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная», приводятся в форме таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Номинальное напряжение	Элемент (присоединение)	$I_{\text{раб.макс}}, \text{ А}$	$I_{\text{ТТ}}, \text{ А}$	$K_{\text{Т}}$
110 кВ	Силовые трансформаторы (сторона ВН)	105,8	150,0	30,0
10 кВ	Силовые трансформаторы (сторона НН)	1165,4	1200,0	240,0

Далее в работе, на основании полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ, используемых для дальнейшего выбора уставок РЗА силовых трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная», проводится выбор уставок РЗА трансформаторов подстанции.

3.2 Расчёт дифференциальной защиты трансформаторов

В «качестве защиты трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью [14].

Ток срабатывания этой защиты определяется» [11] путём отстройки от тока небаланса:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot (I_{\text{раб.макс.НН}} - I_{\text{раб.макс.ВН}}), \quad (43)$$

где $I_{\text{раб.макс.НН}}, I_{\text{раб.макс.ВН}}$ – соответственно максимальный рабочий ток на сторонах НН (10 кВ) и ВН (110 кВ) силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная», А;
 K_n – коэффициент надёжности [13,14].

Коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты должен удовлетворять условию:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.нач.мин}}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,5. \quad (44)$$

Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$I_{\text{с.з}} \geq 1,3 \cdot (1165,4 - 105,8) = 1377,5 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» удовлетворяет требованиям [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{2130}{1377,5} = 1,55 > 1,5.$$

Окончательно принимается для продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная», $I_{\text{с.з}} = 1377,5 \text{ А}$.

Данная защита является основной защитой силовых трансформаторов, поэтому выполняется без выдержки времени со срабатыванием на непосредственное отключение выключателя на линии трансформатора.

3.3 Расчёт защиты от перегрузки силовых трансформаторов

Проводится выбор уставки защиты от перегрузки трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Известно, что в двухобмоточных силовых трансформаторах защита от перегрузки устанавливается со стороны питания [14], значит, в работе данная защита устанавливается на стороне 110 кВ.

Для микропроцессорных блоков защит, защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot I_{\text{раб.макс.ВН}}, \quad (45)$$

где K_n – коэффициент надёжности [13,14].

Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

$$I_{с.з} \geq 1,05 \cdot 105,8 \approx 111,1 \text{ А.}$$

Защита от перегрузки трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» выполняется с действием на сигнал, так как даже при значительных перегрузках не требуется быстрого отключения трансформатора.

3.4 Расчёт максимальной токовой защиты силовых трансформаторов

Проводится выбор уставки максимальной токовой защиты (МТЗ) трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная». В работе МТЗ устанавливается как на стороне ВН (110 кВ), так и на стороне НН (10 кВ) силового

трансформатора, обеспечивая, таким образом, резервирование и селективность.

Следовательно, в работе на силовом трансформаторе принимается два комплекта МТЗ.

Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора должен удовлетворять условиям [13,14], приведённым ниже.

Первое условие заключается в отстройке от максимального рабочего тока трансформатора:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс}, \quad (46)$$

где $K_{отс}$ - коэффициент отстройки;

$K_{сзн}$ - коэффициент самозапуска.

Второе условие – МТЗ «не должен срабатывать в момент подключения дополнительной нагрузки:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot (I_{раб.макс(н)} + K_{сзн} \cdot I_{раб.макс(д)}). \quad (47)$$

Коэффициент чувствительности МТЗ определяется по формуле [13,14]:

$$K_{ч} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(к)}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (48)$$

где $I_{к.мин}^{(к)}$ – минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии;

$K_{сх}^{(3)}$ – коэффициент схемы соединения ТТ и реле;

$K_{сх}^{(к)}$ – коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ;

$I_{с.з}$ – ток срабатывания защиты.

Коэффициент чувствительности для рассчитываемой МТЗ силового трансформатора должен быть не менее 1,2» [13].

По приведённым выше условиям, далее в работе проводится расчёт МТЗ на сторонах 110 кВ и 10 кВ силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная».

Для комплекта МТЗ силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная» на стороне ВН (110 кВ):

– выбор тока срабатывания по первому условию:

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 105,8 = 186,2 \text{ A},$$

– выбор тока срабатывания по второму условию:

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot (105,8 + 1,6 \cdot 105,8) = 302,6 \text{ A}.$$

Принимается для МТЗ трансформатора на стороне ВН, $I_{c.3} = 186,2 \text{ A}$.

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне ВН удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{1980}{302,6} = 6,5 > 1,2.$$

Окончательно принимается для МТЗ силового трансформатора на стороне ВН $I_{c.3} = 186,2 \text{ A}$.

Так как селективность МТЗ обеспечивается подбором времени срабатывания (со стороны источника питания оно будет минимальное), принимается время срабатывания МТЗ силового трансформатора на стороне ВН, равное $t_{c.3} = 0,5 \text{ с}$.

Для комплекта МТЗ силового трансформатора ПС-110/10 кВ «Карьерная» на стороне НН (10 кВ):

– выбор тока срабатывания по первому условию:

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot 1,28 \cdot 1165,4 = 1640,9 \text{ A},$$

– выбор тока срабатывания по второму условию:

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot (1165,4 + 1,6 \cdot 1165,4) \approx 3333 \text{ A}.$$

Принимается для МТЗ трансформатора на стороне НН, $I_{c.3} = 1640,9 \text{ A}$.

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне НН удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{2130}{1640,9} = 1,298 > 1,2.$$

«Окончательно принимается для МТЗ силового трансформатора на стороне НН $I_{c.3} = 1640,9 \text{ A}$.

Время срабатывания данной защиты с учётом селективности принимается равным $t_{c.3} = 1,0 \text{ с}$ » [4].

3.5 Газовая защита трансформаторов

«В качестве газовой защиты силовых трансформаторов, установленных на ПС-110/10 кВ «Карьерная», в работе используются усовершенствованные газовые реле типа» [14] РГТ-80 (производитель – ООО «ЕССО-Технолоджи», г. Чебоксары), которые зарекомендовали себя с положительной стороны и характеризуются высокой надёжностью и быстродействием [14].

Конструктивное выполнение усовершенствованного газового реле типа РГТ-80, применяемого для защиты силовых трансформаторов, установленных на ПС-110/10 кВ «Карьерная», представлено на рисунке 7.



Рисунок 7 – Конструктивное выполнение усовершенствованного газового реле типа РГТ-80, применяемого для защиты силовых трансформаторов, установленных на ПС-110/10 кВ «Карьерная»

Принцип действия газового реле для защиты силового трансформатора основан на контроле давления газа. Разогретые газы стремятся попасть в расширитель устройства, проходя через корпус реле. В случае слабого нагрева, давление газа будет нарастать постепенно и газовое реле даст предупреждающий сигнал, при этом не отключая силовой трансформатор.

В случае интенсивного давления газа, которое свидетельствует о сильном разогреве, что, как правило, бывает связано с внутренним КЗ или явлением «пожара стали» магнитопровода, данное газовое реле отключает силовой трансформатор. Таким образом, обеспечивается полная защита от внутренних повреждений в трансформаторе.

Выводы по разделу.

В работе, на основе расчётных данных, проведён расчёт уставок основных защит трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, газовой защиты). Все выбранные уставки соответствуют требованиям нормативных документов и методик расчёта.

Заключение

В результате выполнения работы, проведено проектирование ПС-110/10 кВ «Карьерная», осуществлённое путём внесения изменений в существующую схему главных электрических соединений, обусловленную подключением новых потребителей к объекту исследования.

Приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений ПС-110/10 кВ «Карьерная», с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей и транзитных мощностей данной понизительной подстанции. Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима и основному оборудованию понизительных подстанций энергосистемы.

На основании полученных аналитических данных проведённого анализа, установлено, что в работе рекомендуется внедрить предложенные мероприятия по реконструкции схемы главных электрических соединений нормального режима ПС-110/10 кВ «Карьерная», путём подключения новых двух линий 10 кВ для питания потребителей карьера и завода «Дропзавод», на незанятые ячейки «Резерв-1» и «Резерв-2», с активной установленной мощностью по 1000 кВт на каждую ячейку.

Установлено, что в результате внедрения предложенных мероприятий по реконструкции объекта исследования, в работе необходимо выбрать и проверить защитные и коммутационные аппараты для установки в данных ячейках, а также проводники, связанные с данными ячейками (провода воздушных линий, отходящие к потребителям, а также шины распределительного устройства 10 кВ, применяемые в ячейках).

Кроме того, обосновано, что, в связи с изменившейся нагрузкой потребителей, на ПС-110/10 кВ «Карьерная», необходимо проверить силовые трансформаторы на перегрузочную способность, выбрать и проверить все электрические аппараты РУ-110 кВ и РУ-10 кВ, а также проводники

(питающую воздушную линию 110 кВ, отходящие воздушные линии 10 кВ и сечения шин в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ).

Для подтверждения работоспособности схемы электрических соединений ПС-110/10 кВ «Карьерная», обусловленной вводом в эксплуатацию ячеек с нагрузкой новых потребителей в РУ-10 кВ подстанции, проверена целесообразность установки на подстанции силовых трансформаторов марки ТДН-10000/110, с учётом их нагрузочной способности в нормальном режиме работы, а также допустимой перегрузки в послеаварийном режиме работы с учётом резервирования схемы. Установлено, что силовые трансформаторы марки ТДН-10000/110 подстанции соответствуют нагрузочной и перегрузочной способности с учётом суточного графика нагрузки.

Определены значения расчётной электрической нагрузки присоединений, сборных шин и транзитных линий подстанции, а также токи трёхфазного и двухфазного короткого замыкания в максимальном режиме работы системы.

Проверочным путём обоснованы и подтверждены все сечения проводников воздушных линий напряжением 110 кВ и 10 кВ для их применения на ПС-110/10 кВ «Карьерная»: питающей (110 кВ), транзитных (110 кВ) и отходящих (10 кВ) воздушных линий ПС-110/10 кВ «Карьерная» (выбраны и проверены провода марки АС разных сечений).

Также выбраны и проверены жёсткие сборные шины и ответвительная ошиновка для применения в КРУН-10 кВ ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

- основная жёсткая ошиновка: сборные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, размер – 60×6 мм, две полосы (двухполосные шины), допустимый ток $I_{дон} = 1355$ А;
- жёсткая ответвительная ошиновка марки ОЖКЧ-6/2000, $I_{дон} = 2000$ А.

Все выбранные проводники для установки на ПС-110/10 кВ «Карьерная» соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

Выбрано и проверено оборудования распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ на трансформаторной подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная»:

- в «РУ-110 кВ: выключатели высокого напряжения марки ВР110НСМ (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»), разъединители марки РГП-НТ-110-25/1000 УХЛ1 (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»), ограничители перенапряжения ОПН-110/40,5/10/450 УХЛ1 (производитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»);
- в РУ 10 кВ: выключатели высокого напряжения марки ВРС-10 (производитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»), ограничители перенапряжения марки ОПНп-10/6,9/10/500 УХЛ1 (производитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»)» [4].

Все выбранные электрические аппараты для установки в ЗРУ-110 кВ и в КРУН-10 кВ на ПС-110/10 кВ «Карьерная» соответствуют требуемым условиям выбора и проверки.

На основе расчётных данных, проведён расчёт уставок основных защит трансформаторов ПС-110/10 кВ «Карьерная» (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, газовой защиты). Все выбранные уставки соответствуют требованиям нормативных документов и методик расчёта.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ПС-110/10 кВ «Карьерная» в связи с вводом в эксплуатацию ячеек РУ-10 кВ для питания новых потребителей подстанции.

Список используемых источников

Введение.....	4
1 Исходная характеристика подстанции	7
1.1 Исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции ПС-110/10 кВ «Карьерная».....	7
1.2 Требования нормативных документов к понизительным подстанциям.....	14
1.3 Обоснование предложений по реконструкции подстанции.....	17
2 Проектирование системы электроснабжения подстанции.....	21
2.1 Определение расчётных электрических нагрузок.....	21
2.2 Проверочный расчёт силовых трансформаторов подстанции.....	27
2.3 Выбор и проверка проводников подстанции.....	34
2.4 Расчёт токов короткого замыкания на подстанции.....	41
2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов.....	50
3 Расчёт релейной защиты силовых трансформаторов подстанции	59
3.1 Расчёт первичных токов и коэффициентов трансформации трансформаторов тока	59
3.2 Расчёт дифференциальной защиты трансформаторов.....	61
3.3 Расчёт защиты от перегрузки силовых трансформаторов.....	63
3.4 Расчёт максимальной токовой защиты силовых трансформаторов	63
3.5 Газовая защита трансформаторов.....	66
Заключение	68
Список используемых источников.....	71

1. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2018. 256 с.

2. Газовое реле РГТ-80. [Электронный ресурс]: URL: https://electric.myprom.ru/product/gazovoe-rele-rgt-80-201-vzamen-rele-bf80q_70186 (дата обращения: 07.03.2023).

3. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 07.03.2023).

4. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические

распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 07.03.2023).

5. Зарафшан, Узбекистан (карта) [Электронный ресурс]: URL: <https://www.google.com/maps/place/%D0%97%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%88%D0%B0%D0%BD,+%D0%A3%D0%B7%D0%B1%D0%B5%D0%BA%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD/@41.5742195,64.1919136,13z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x3f582507a6f69129:0xf44ad82cb3da335!8m2!3d41.5743663!4d64.183316!16s%2Fm%2F0466r18> (дата обращения: 07.03.2023).

6. Захаров О.Г. Цифровые устройства релейной защиты. Алгоритмы и уставки. М.: Энергоиздат, 2019. 640 с., ил.

7. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.

8. 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.

9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. СПб.: Лань, 2018. 316 с.

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

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

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

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

14. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда:

Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.

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

16. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200088422/titles> (дата обращения: 18.01.2023).

17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: https://doc-baza.ru/sites/default/files/sto_56947007-29.240.30.010-2008_shemy_principalnye_elektricheskie_raspredelitelnyh_ustroystv_podstanciy_35-750_kv_tipovye_resheniya.pdf (дата обращения: 16.10.2022).

18. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 07.03.2023).

19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2019. 136 с.

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